



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO
COMPLEMENTARIO PARA LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL
BOTADERO “CURGUA”, CANTÓN GUARANDA”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar por el título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: BYRON FABIAN ANDRADE BORJA

DIRECTOR: DR. GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA

RIOBAMBA-ECUADOR

2017

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO COMPLEMENTARIO PARA LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL BOTADERO “CURGUA”, CANTÓN GUARANDA**”, de responsabilidad del señor Byron Fabián Andrade Borja, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Gerardo León

DIRECTOR DE TRABAJO

DE TITULACIÓN

FIRMA

FECHA

Ing. Camilo Haro

MIEMBRO DE TRABAJO

DE TITULACIÓN

Yo, Byron Fabián Andrade Borja soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del trabajo de Titulación de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Byron Fabián Andrade Borja

Yo, BYRON FABIÁN ANDRADE BORJA, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 25 de octubre del 2017

BYRON FABIAN ANDRADE BORJA

020188660-3

DEDICATORIA

A mi Dios, quien me ha cuidado y guiado en todo momento para poder cumplir con mis metas.

A mi madre Elizabeth, quien ha luchado incansablemente y siempre me apoyo, para poder seguir adelante.

A mi hermana Johanna, quien siempre tuvo una palabra de aliento y a quien debía dar un ejemplo de perseverancia y esfuerzo.

Al Ing. Raúl Allan, quien me brindo su sincera amistad, conocimientos, apoyo y confianza para cumplir mi meta.

Byron A.

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que mediante sus maestros formaron mi vida académica con la impartición de sus conocimientos y experiencias.

Al Dr. Gerardo León y al Ing. Camilo Haro por ser los guías durante el desarrollo del presente Trabajo de Titulación.

A la E.P- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, por abrirme las puertas y proporcionarme el aval para el desarrollo del proyecto, de manera muy especial al Ing. Raúl Allan Naranjo, Técnico del Laboratorio de Control de Calidad, por brindarme su amistad, conocimientos y apoyo durante todo el desarrollo del proyecto.

Y a toda mi familia y amigos quienes de una u otra manera estuvieron presentes y fueron la fortaleza que necesitaba para nunca desfallecer y seguir adelante en cumplir mis objetivos.

Byron A.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xiii
SUMARY	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1.MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	6
1.1.Residuos sólidos urbanos	6
1.1.1.Características de un botadero	6
1.2.Generalidades de lixiviados	7
1.2.1.Características de los lixiviados	7
1.2.2.Métodos utilizados para caracterización de lixiviados.....	8
1.3.Tecnologías de tratamiento de lixiviados	9
1.3.1.Tratamientos Físicos.....	9
1.3.2.Tratamientos químicos.....	11
1.3.3Tratamientos Biológicos	12
1.4.Marco Legal.....	12
CAPITULO II	
2.MARCO METODOLÓGICO.....	14
2.1.Localización y características del botadero	14
2.1.1.Localización del proyecto.....	14
2.1.2.Características del botadero.....	15
2.2.Medición del caudal de los lixiviados	15
2.3.Muestreo de lixiviados.	16
2.3.1.Caracterización de lixiviados.....	16
2.4.Pruebas de tratabilidad	18
2.5.Propuesta del diseño de la planta	19
2.6.1.Cálculo de la población futura.....	21
2.7.Cálculo de generación de lixiviados debido a las condiciones meteorológicas	21
2.7.1.Generación de lixiviados por efecto de la condiciones meteorológicas	21
2.7.2.Cálculo del caudal por balance hídrico de infiltración del botadero	22
2.8.Cálculos de diseño del reactor biológico	25

<i>2.8.1.Reactor biológico.....</i>	<i>25</i>
2.9.Cálculo de diseño de las unidades complementarias al reactor biológico	35
<i>2.9.1.Cálculo del Canal.....</i>	<i>36</i>
<i>2.9.2.Rejillas.....</i>	<i>37</i>
<i>2.9.3.Desarenador</i>	<i>42</i>
<i>2.9.4.Sedimentador.....</i>	<i>46</i>
<i>2.9.5.Filtros 52</i>	
<i>2.9.6.Tanque de desinfección.....</i>	<i>52</i>
<i>2.9.7.Dosificación del desinfectante</i>	<i>53</i>
<i>2.9.8.Lecho de secado.....</i>	<i>57</i>
2.10.Elaboración de planos.....	61
CAPÍTULO III	
3.RESULTADOS.....	62
3.1.Resultados de aforaciones de caudales	62
3.2.Resultados de la caracterización físico-química y microbiológica inicial de lixiviados	64
3.3.Resultados de las pruebas de tratabilidad	66
3.4.Caracterización de los lixiviados posterior al sistema propuesto	68
3.5.Remoción de contaminantes en el tratamiento de lixiviados.....	70
3.6.Resultados de la determinación de los parámetros de diseño	77
PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	81
CONCLUSIONES.....	85
RECOMENDACIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Composición de los residuos sólidos por componente	6
Tabla 2-1. Comparación de las características principales de lixiviados	7
Tabla 1-2. Número de aforaciones realizadas	15
Tabla 2-2. Número de muestreos realizados	16
Tabla 3-2. Descripción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos	17
Tabla 4-2. Medición de la precipitación para los meses de estudio	22
Tabla 5-2. Medición de Evapotranspiración real mensual para los meses de estudio	22
Tabla 6-2. Porcentaje de escorrentía en función del tipo de cobertura de suelo y pendiente.....	23
Tabla 7-2. Coeficientes Kt3 en base a la temperatura.....	34
Tabla 8-2. Criterios de diseño para rejillas	37
Tabla 1-3. Aforaciones de caudal del mes de noviembre 2016	62
Tabla 2-3. Aforaciones del caudal del mes de diciembre 2017.....	62
Tabla 3-3. Aforaciones del caudal del mes de enero 2017.....	63
Tabla 4-3. Promedio de las aforaciones mensuales del caudal de lixiviados.....	63
Tabla 5-3. Caracterización físico-química y microbiológica inicial de lixiviados.....	64
Tabla 6-3. Remoción de parámetros en el desarenador	66
Tabla 7-3. Remoción de parámetros en el reactor biológico.....	67
Tabla 8-3. Remoción de parámetros en el sedimentador	67
Tabla 9-3. Remoción de parámetros en el filtro de grava y arena.....	67
Tabla 10-3. Remoción de parámetros en el filtro de carbón activado.....	68
Tabla 11-3. Remoción de parámetros en el filtro de antracita	68
Tabla 12-3. Resultado de los lixiviados después del tratamiento propuesto.....	68
Tabla 13-3. Diseño del Reactor Biológico.....	77
Tabla 14-3. Diseño del canal.....	78
Tabla 15-3. Diseño de Rejillas	78
Tabla 16-3. Diseño del Desarenador	79
Tabla 17-3. Diseño del Sedimentador	79
Tabla 18-3. Diseño del tanque de Desinfección.....	80
Tabla 19-3. Diseño del Lecho de Secado.....	80
Tabla 20-3. Determinación de los costos del Sistema de Tratamiento Biológico de lixiviados	81
Tabla 21-3. Determinación de costos de dosificación del Cloro.....	83

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	21
Ecuación 2.....	22
Ecuación 3.....	23
Ecuación 4.....	23
Ecuación 5.....	24
Ecuación 6.....	25
Ecuación 7.....	25
Ecuación 8.....	26
Ecuación 9.....	26
Ecuación 10.....	27
Ecuación 11.....	27
Ecuación 12.....	28
Ecuación 13.....	28
Ecuación 14.....	29
Ecuación 15.....	29
Ecuación 16.....	30
Ecuación 17.....	30
Ecuación 18.....	30
Ecuación 19.....	30
Ecuación 20.....	31
Ecuación 21.....	31
Ecuación 22.....	31
Ecuación 23.....	32
Ecuación 24.....	32
Ecuación 25.....	33
Ecuación 26.....	33
Ecuación 27.....	34
Ecuación 28.....	35
Ecuación 29.....	36
Ecuación 30.....	37
Ecuación 31.....	38
Ecuación 32.....	38
Ecuación 33.....	39
Ecuación 34.....	39
Ecuación 35.....	40
Ecuación 36.....	40
Ecuación 37.....	41
Ecuación 38.....	41

Ecuación 39.....	42
Ecuación 40.....	43
Ecuación 41.....	43
Ecuación 42.....	44
Ecuación 43.....	44
Ecuación 44.....	45
Ecuación 45.....	45
Ecuación 46.....	45
Ecuación 47.....	46
Ecuación 48.....	47
Ecuación 49.....	47
Ecuación 50.....	48
Ecuación 51.....	48
Ecuación 52.....	49
Ecuación 53.....	49
Ecuación 54.....	50
Ecuación 55.....	50
Ecuación 56.....	50
Ecuación 57.....	51
Ecuación 58.....	51
Ecuación 59.....	52
Ecuación 60.....	53
Ecuación 61.....	53
Ecuación 62.....	54
Ecuación 63.....	55
Ecuación 64.....	55
Ecuación 65.....	56
Ecuación 66.....	56
Ecuación 67.....	57
Ecuación 68.....	58
Ecuación 69.....	58
Ecuación 70.....	58
Ecuación 71.....	59
Ecuación 72.....	59
Ecuación 73.....	60
Ecuación 74.....	60
Ecuación 75.....	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3 Resultados de los análisis de Color	71
Gráfico 2-3. Resultados de los análisis de Turbiedad	72
Gráfico 3-3. Resultados de los análisis de Solidos suspendidos totales.....	73
Gráfico 4-3. Resultado de los análisis de Nitrógeno Total	73
Gráfico 5-3. Resultados de los análisis de Fluoruros	74
Gráfico 6-3. Resultados de los análisis de Cianuro.....	75
Gráfico 7-3. Resultado de los análisis de DBO5.....	76
Gráfico 8-3. Resultados de los análisis de DQO.....	76
Gráfico 9-3. Resultados de los análisis de Coliformes Fecales.....	77

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo diseñar un sistema de tratamiento biológico complementario para lixiviados provenientes del botadero “Curgua”, cantón Guaranda, con la finalidad de mitigar los problemas de contaminación que se vienen generando debido descargas sobre el río Guaranda. El proceso complementario a diseñarse para el tratamiento de lixiviados, se lo realizó en tres fases, la primera que consistió en el aforo y caracterización de los lixiviados durante los meses de noviembre y diciembre del 2016 y enero del 2017, los mismos que fueron recolectados del sistema de drenaje del botadero de Curgua y trasladados al laboratorio de la Empresa Pública – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado - Guaranda ((E.P-EMAPA-G) para su respectivo análisis, obteniéndose que parámetros como color, turbiedad, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fluoruros, cianuro, DBO₅, DQO, coliformes totales y coliformes fecales, presentan valores por encima de los límites máximos permisibles 917,00 UTC; 634,87 NTU; 160,90 mg/L; 63,16 mg/L; 14,15 mg/L; 0,48 mg/L; 891,14 mg/L; 1487,50 mg/L; 6552,80 NMP/100mL; 3320,00 NMP/100mL respectivamente. En una segunda etapa se realizó la simulación de los procesos a escala de laboratorio para posteriormente en la tercera parte dimensionar el reactor biológico SBR, considerándose un caudal de diseño de 0,95L/s y un índice de biodegradabilidad de 0,6. Adicionalmente se consideró el dimensionamiento de operaciones unitarias complementarias como: Desarenadores, sedimentador, filtros y un tanque de desinfección que permitirían reducir de acuerdo a los ensayos de laboratorio los parámetros fuera de norma en un 95% aproximadamente. Finalmente podemos evidenciar que el sistema propuesto es el indicado en la depuración de lixiviados. Se recomienda implementar la planta de tratamiento biológico para lixiviados con el fin de mitigar el impacto ambiental que se viene produciendo.

Palabras Clave: <BIOTECNOLOGÍA>, <INGENIERÍA AMBIENTAL>, <LIXIVIADOS> <TRATAMIENTO BIOLÓGICO> <CONTAMINACIÓN AMBIENTAL> <LÍMITES PERMISIBLES> <AFORAMIENTO VOLUMÉTRICO> <PRUEBAS DE TRATABILIDAD>

ABSTRACT

This research work aims to design a complementary biological treatment system for leachates from the dump "Curgua", Guaranda canton, in order to mitigate the pollution problems generated due to discharges into the Guaranda River. The complementary design was carried out in three phases: the first consisted of the capacity and characterization of leachates during November and December 2016 and January 2017, collected from the drainage system of Curgua's dump and transferred to the laboratory of the Public Company – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, (Municipal Water and Sewerage Enterprise) - Guaranda (EP-EMAPAG-G) for its respective analysis, obtaining that for parameters such as color, turbidity, total suspended solids, total nitrogen, fluorides, cyanide, BOD₅, COD, total coliforms and fecal coliforms, present values above the maximum permissible limits 917.00 UTC; 634.87 NTU; 160.90mg / L; 63.16mg / L; 14,15mg / L; 0.48mg / L; 891.14mg / L; 1487.50mg / L; 6552.80 NMP/100mL and 3320.00 NMP/100mL respectively. In the second stage, the simulation of the laboratory-scale processes was carried out. Later, in the third part, the SBR biological reactor was sized, considering a design flow rate of 0.95 / Ls and a biodegradability index of 0.6. Additionally, the dimensioning of complementary unit operations such as; Sand dealers, sedimentation, filters and a disinfection tank that would allow to reduce according to the laboratory tests the out-of-standard parameters by approximately 95%. Finally, it can be shown that the proposed system is the one indicated in the leachate purification. It is recommended to implement the biological treatment plant for leachates in order to mitigate the environmental impact produced.

Keywords:<BIOTECHNOLOGY>, <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <BIOLOGICAL TREATMENT>, < ENVIRONMENTAL POLLUTION>, <PERMISSIBLE LIMITS>, <VOLUMETRIC ADJUSTMENT>,<TREATIBILITY TEST>

INTRODUCCIÓN

Se denominan lixiviados a todos aquellos líquidos que entraron en contacto con los residuos sólidos debido a factores como: precipitaciones, humedad, escorrentías, además la generación de caudal se ve influenciada por la edad del botadero, composición de los residuos, el diseño que posea, entre otros. (Álvarez Contreras & Suárez Gelvez, 2006).

Existen varios antecedentes de tratamiento aerobio y anaerobio de lixiviados, que van desde experiencias a escala laboratorio a experiencias a escala real. El tipo de tratamiento aerobio más extendido es lodos activados o lagunas aireadas. Otro sistema aerobio utilizado para el tratamiento de los lixiviados es el reactor de biodiscos o RBC (Contactor Biológico Rotante). En cuanto al tratamiento anaerobio de lixiviado, el sistema de mayor difusión es el reactor UASB, el cual ha reportado muy buenos resultados. (Álvarez Contreras & Suárez Gelvez, 2006)

Actualmente el botadero de Curgua, ubicado en el cantón Guaranda cuenta con un tratamiento convencional de lixiviados que consta de un tanque recolector y tres celdas adecuadas a manera de filtros, por este motivo, el tratamiento dispuesto no es el adecuado para disminuir la cargas contaminantes que existen en estos lixiviados, debido a este déficit existe contaminación en el río Guaranda en donde son descargados.

ANTECEDENTES

El aumento en la generación de residuos sólidos urbanos está directamente relacionado con el crecimiento poblacional, lo que provoca que los botaderos y rellenos sanitarios generen una mayor cantidad de lixiviados, motivo por el cual es indispensable que tengan un tratamiento adecuado antes de su descarga final, para lo que se han planteado una serie de alternativas para su tratamiento. Entre las principales y más utilizadas se encuentran: humedales artificiales, lagunas aerobias, recirculación del lixiviado, entre otras.

Sin embargo las continuas reformas a los límites permisibles de descarga en la mayoría de países, además del deterioro de los sitios de disposición final que cada vez tiene más lixiviados que estabilizar, hacen que los tratamientos que se les da no sean suficientes para depurarlos y reducir el impacto que generen al ambiente, motivo por el cual, en los últimos años se han venido desarrollando tratamientos más efectivos basados en tecnologías de membrana, microfiltración, nanofiltración y osmosis inversa.

En Ecuador, la mayoría de sitios de disposición final de residuos son botaderos a cielo abierto y los lixiviados generados no cuentan con un tratamiento adecuado para su descarga, lo cual repercute en el deterioro ambiental y además afectan directamente a la salud de la población.

Sin embargo, debido a la contaminación que se genera muchas ciudades están implementando tratamientos adecuados para lixiviados, tal es el caso que el relleno sanitario del Distrito Metropolitano de Quito que dispone de un sistema de tratamiento de lixiviados conformado por tres plantas:

- Planta de tratamiento de lixiviados MBR (Membranas Bio-Reactoras) y osmosis inversa.
- Planta de tratamiento de lixiviados VSEP (Sistema de Osmosis Vibratoria).
- Planta de tratamiento PTL (tratamiento físico-químico de lixiviados).

El botadero de Curgua en el cantón Guaranda, lleva operando desde hace 20 años aproximadamente, sin que exista una plataforma impermeabilizada con un sistema de recolección de líquidos que capte a los lixiviados generados hacia un adecuado tratamiento; constituyendo un foco contaminante a largo tiempo. La generación de los lixiviados se produce debido al agua proveniente de las precipitaciones, escorrentías, composición de la basura, descomposición de la materia orgánica, entre otros, los mismos que se infiltran hacia niveles freáticos, ubicados debajo el botadero, y que alcanzan las aguas del río Guaranda generando contaminación.

La Dirección Provincial de Salud de Bolívar ha efectuado llamados de atención frecuentes a la Municipalidad de Guaranda respecto de las anomalías existentes en la disposición final de los lixiviados, debido a su precario sistema de tratamiento. De análisis químicos realizados sobre dicho efluente se observa que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la Tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097 A, publicado en el registro oficial edición especial N° 387 del 4 de Noviembre del 2015.

JUSTIFICACIÓN

Debido al incremento de la población que se traduce en una mayor generación de residuos sólido, provoca que se origine mayor cantidad de lixiviados, que sumado al mal manejo y al inadecuado tratamiento causan malos olores y enfermedades, que aquejan a las comunidades cercanas originando daño a los sembríos del lugar y causando el deterioro del medio.

En la actualidad, el sistema de tratamiento de lixiviados del botadero de Curgua presenta problemas a la hora de garantizar el tratamiento de los mismos, generando descargas que sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097 A, publicado en el registro oficial edición especial N° 387 del 4 de Noviembre del 2015. Evidenciados en caracterizaciones físico-químicas y bacteriológicas realizadas anteriormente por el municipio y la empresa municipal de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Guaranda.

Por este motivo se propone diseñar un sistema de tratamiento biológico complementario con el cual se dará el tratamiento adecuado a estos lixiviados, mitigando la contaminación producida y que se ve reflejada en la salud de la población aguas más abajo de la descarga, así como también impedir el deterioro de terrenos dado que estas aguas son utilizadas para labores agrícolas así como también para usos domésticos.

El desarrollo de la investigación contribuirá a que la población del Cantón Guaranda y sobre todo de quienes habitan en el área de influencia directa del botadero, se beneficien con la propuesta; garantizando que los derechos de los ciudadanos para vivir en un ambiente saludable sean respetados, como lo establece la Constitución Política del Estado, que en su Artículo 14, en el cual “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumakkawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”.

Ante todo lo expuesto, se considera viable el presente proyecto, puesto que contribuye a la solución de un problema latente, que afecta directamente al ambiente como a la ciudadanía en general; por lo que, el interés prestado por parte de la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda contribuirá al desarrollo de la presente investigación, prestando las garantías necesarias desde el inicio del proyecto en mención.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar un sistema de tratamiento biológico complementario para lixiviados provenientes del botadero “Curgua”, cantón Guaranda.

Objetivos Específicos

- Caracterizar el efluente que se descargan de la planta de tratamiento de lixiviados del botadero “Curgua” en el cantón Guaranda.
- Identificar el tratamiento biológico adecuado, en función de la caracterización inicial de los efluentes de la planta de tratamiento de lixiviados.
- Verificar el tratamiento seleccionado a escala de laboratorio, previo al dimensionamiento del sistema complementario para la depuración de los lixiviados.
- Dimensionar el tratamiento biológico complementario para lixiviados del botadero de Curgua, a partir del escalamiento del sistema.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Residuos sólidos urbanos

Son aquellos que se originan por la eliminación de materiales utilizados en las actividades domésticas y comerciales, así como todos aquellos que no tenga la clasificación de peligrosos. Todos estos residuos al no poseer una separación por componente se mezclan en un solo conglomerado que trae consigo problemas de contaminación. (SENPLADES, 2015)

Tabla 1-1. Composición de los residuos sólidos por componente

Tipo de residuo	Porcentaje (%)
Orgánico	61,4
Plástico	11,0
Papel y Cartón	9,4
Vidrio	2,6
Chatarra	2,2
Otros	13,3

Fuente: (SENPLADES, 2015)

1.1.1. Características de un botadero

Un botadero es un sitio de disposición final de desechos que se caracteriza principalmente por no poseer un orden y planificación en la acopio de los residuos, presentan un elevado riesgo físico y biológico debido a que estos residuos, no poseen la compactación adecuada y no se realiza un tratamiento de los mismos, donde acumulación excesiva origina olores desagradables y una alta

generación de gases y lixiviados que afectan principalmente a los moradores de la zona. (Najera Aguilar, Lixiviados , 2009)

1.2. Generalidades de lixiviados

El lixiviado es todo aquel líquido que se ha generado de los procesos de degradación de los residuos y de la percolación de la precipitación producida los rellenos y botaderos, acarreando una serie de compuestos tóxicos que lo convierte en un pasivo ambiental altamente. (ÁVILA, 2003)

1.2.1. Características de los lixiviados

En su composición, los lixiviados pueden presentar altas concentraciones de materia orgánica, fosforo, nitrógeno, patógenos, además de metales pesados que alcanzan sus máximos valores en los primeros años de su formación y se van reduciendo conforme decrece la edad del botadero. (Álvarez Contreras & Suárez Gelvez, 2006)

Tabla 2-1. Comparación de las características principales de lixiviados

Características	Lixiviado joven(<10 años)(mg/L)	Lixiviado viejo(>10 años) (mg/L)
DBO ₅	4000-40000	20-550
DQO	6000-60000	500-4500
Sulfatos	70-1750	10-420
Calcio	10-2500	20-600
pH	4,5-7,5	7,5-9
Magnesio	50-1150	40-350
Hierro	20-2100	3-280

Fuente: (Medina, 2015)

La tabla 2-1 nos indica que la concentración de los parámetros en mención son muchos más elevados en un lixiviado joven que uno maduro, debido a que muchos procesos son sometidos a dilución lo que genera una disminución de los mismos.

La biodegradabilidad de los efluentes nos indica que pueden ser depurados por medio de microorganismos, los mismos que utilizan la materia orgánica presente como alimento para su metabolismo y reproducción. Es precisamente la depuración de los efluentes lo que va regenerando la disponibilidad del recurso agua y a la vez evita la contaminación de las fuentes hídricas existentes. (Peña, 2010)

La relación DBO_5/DQO nos indica el índice de biodegradabilidad que presenta los lixiviados, además nos ayuda a escoger el tratamiento óptimo que se le va a dar, el mismo que puede ser físico químico o biológico.

1.2.2. Métodos utilizados para caracterización de lixiviados

La caracterización de los lixiviados se realiza a partir de muestras de los mismos, donde los parámetros analizados físicos, químicos y microbiológicos son importantes para conocer las condiciones en la que se encuentra y determinar los límites máximos permisibles previo a su descarga, tal como se indica a continuación. (Seoanez, 2003)

1.2.2.1. Parámetros físicos

- Material en suspensión: determina la cantidad de partículas suspendidas presente en los lixiviados.
- Conductividad: este parámetro nos ayuda a determinar la concentración de sales disueltas presentes en los lixiviados.
- Temperatura: este parámetro se lo realiza con el fin de determinar la afectación de la disociación de las sales disueltas, las mismas que influyen en el aumento o disminución del pH
- Turbiedad: este parámetro viene determinado por la cantidad de material suspendido que se encuentra en el lixiviado.

1.2.2.2. Parámetros químicos

- Nitratos: su presencia se debe a la descomposición de las materias vegetales y animales, las mismas que van a generar contaminación.
- Nitritos: este parámetro nos indica la presencia de contaminación de carácter fecal.
- Sulfuros: su presencia se produce por la descomposición de la materia orgánica.
- DBO₅: este parámetro mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica
- DQO: determina la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica

1.2.2.3. Parámetros microbiológicos

- Coliformes totales: indican la cantidad de organismos que se encuentran presentes en los lixiviados y que alteran su composición.
- Coliformes fecales: es un indicador de la presencia de bacterias o virus de carácter patógeno que se originan principalmente debido a la presencia de heces ya sean de animales o personas.

1.3. Tecnologías de tratamiento de lixiviados

Una caracterización completa de un determinado lixiviado permite establecer los tratamientos más adecuados para la depuración de los mismos, pudiendo ser estos químicos, físicos o biológicos, tal como se observa a continuación.

1.3.1. Tratamientos Físicos

Los tratamientos físicos tienen por objeto eliminar elementos contaminantes sin alterar la composición del líquido que se esté tratando, utilizando la gravedad, diferencia de densidades, entre otras. (E.P-EMAPA-G, 2012). A continuación se detallan algunos:

Rejillas

Es un sistema utilizado se utiliza para retener sólidos de gran tamaño que vienen acarreados por los efluentes. Estos sistemas ayudan a reducir de un 5% a 20% aproximadamente los sólidos de mayor peso que podrían provocar obstrucciones en los sistemas de tratamiento. (Martinez, 2005)

De acuerdo a la limpieza las rejillas se dividen en dos tipos:

- Rejillas de limpieza mecánica.
- Rejillas de limpieza manual.

Desarenador

El desarenador es un equipo cuya función es la decantación de sólidos con diámetros superiores a los 0,02 mm, pudiendo operarse con velocidades cercanas a 0,3 m/s, lo cual proporciona un tiempo adecuado para que las partículas de mayor tamaño puedan sedimentar. (OPS, 2002)

Sedimentador

El sedimentador permite la remoción de partículas más pequeñas con diámetros entre 0,02-0,05mm, que por acción de la gravedad se depositan en el fondo. Al sedimentador pueden llegar sólidos de forma natural o como resultado de procesos de floculación y coagulación. (OPS/CEPIS/05.158, 2005)

Podemos distinguir dos tipos de sedimentadores:

- Sedimentador rectangular: en donde el flujo es paralelo a la longitud del tanque, permiten una compactación de los sedimentos, además su costo suele ser más elevado que los demás.
- Sedimentador circular: en donde se realiza una dosificación central, su flujo es de carácter radial desde el centro hacia afuera, mientras que otros tienen dosificación perimetral con flujo espiral. Están provistos de canaletas para la recolección de los sedimentos (Morros, 2010).

Filtros

Son aparatos que generalmente están compuestos por un material poroso como arena, grava, carbón activado, antracita, entre otros. El líquido a filtrar pasa por el medio filtrante por acción de la gravedad quedando los sólidos atrapados en los espacios intersticiales de las partículas del medio filtrante. (Envitech, 2014)

1.3.2. Tratamientos químicos

El tratamiento químico altera las condiciones químicas del líquido a tratar, hasta el punto en que genera una desestabilización de sustancias nocivas que se encuentran, permitiendo que se produzca una desinfección (DAS-Argentina, 2017). Entre los principales tenemos:

Coagulación- floculación

La coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión para facilitar su aglomeración, mientras que la floculación con ayuda de una mezcla rápida favorece al contacto entre partículas que se aglutinan y forman los floc, que por acción de la gravedad decantarán al fondo del tanque de sedimentación. (Cárdenas, 2000)

Desinfección

La desinfección consiste en la eliminación de los microorganismos patógenos que pudieran llegar a causar enfermedades. Entre los principales métodos de desinfección tenemos: cloro gas, cloro granular, radiación UV, ozonización, entre otras (OPS/CEPIS/05.158, 2005).

1.3.3. Tratamientos Biológicos

Los tratamientos biológicos aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica y nutrientes para llevar a cabo la eliminación de componentes presentes en el líquido a tratar (Evitech, 2017). Entre los principales tenemos:

Reactores USAB

Un reactor UASB es un tipo de biorreactor que operan en modo discontinuo, desarrollado para tratar aguas residuales con una concentración media y elevada de materia orgánica. Son reactores de flujo ascendente, es decir, el afluente ingresa por la parte inferior y pasa por toda la sección longitudinal para salir por la parte superior. (ARANGO BEDOYA & SANCHES E SOUSA, 2009)

Un reactor UASB, que consiste básicamente de 3 zonas:

- **Zona de entrada:** donde ingresa el efluente a ser tratado por la base del reactor y se dirige en forma ascendente a la zona de digestión
- **Zona de digestión:** el efluente pasa por una zona donde se encuentran dispuestas las bacterias anaerobias, las mismas que degradaran los contaminantes.
- **Zona de sedimentación:** en este lugar se produce la separación del gas, sólido y líquido.

Reactor SBR

El SBR es un reactor de tratamiento biológico que es aplicado en el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales para pequeñas y medias velocidades de flujo. Las operaciones del reactor son en muchos aspectos similares al de lodos activos. El Ciclo de tratamiento de un SBR consiste en una secuencia de tiempos la cual típicamente contiene los siguientes pasos: llenado, reacción, sedimentación y decantación (Queralt, 2004)

1.4. Marco Legal

Dicho acuerdo se basa en lineamientos regidos por la Constitución Política del Estado en su Título II, Derechos. Capítulo Segundo, Sección Segunda, que menciona sobre Ambiente Sano, que indica

en el Artículo 14 ***“que la población en general tiene derecho a vivir en un ambiente sano, equilibrado y libre de contaminación”***, además de lo señalado en la ley de aguas que a su vez en su Capítulo I, De La Conservación, Artículo. 21 y Capítulo II, De La Contaminación, Artículo. 22 se menciona que ***“los recursos hídricos deben estar libres de contaminación y cualquier tipo de descarga que se realice en los mismos deberá cumplir con los límites estipulados para las mismas”***.

Para garantizar la preservación de los recursos hídricos es necesario controlar las descargas de lixiviados, por lo que el presente estudio se basa en los lineamientos establecidos en el Acuerdo Ministerial 097 A, tabla 9, publicado en el registro oficial edición especial N° 387 del 4 de Noviembre del 2015, en donde se indican los límites permisibles que deben cumplir antes de ser descargados a un cuerpo receptor. (Véase en el anexo B),

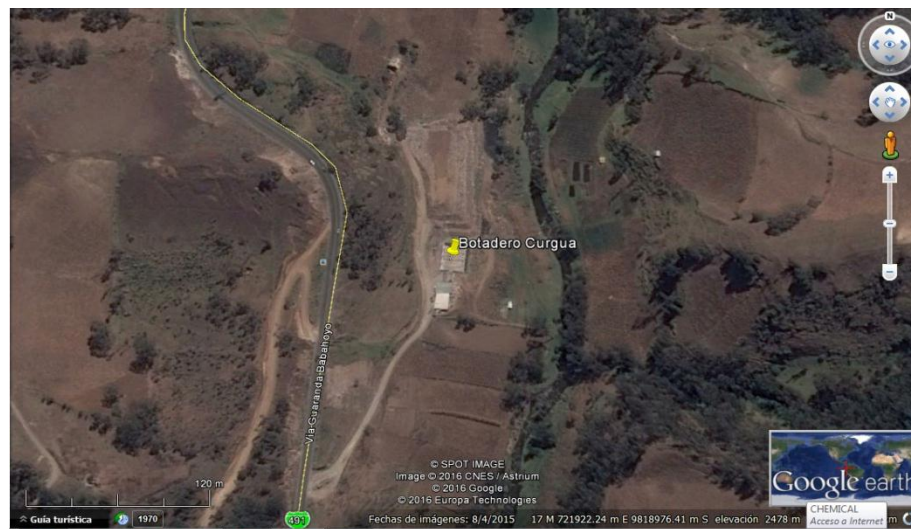
CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Localización y características del botadero

2.1.1. Localización del proyecto

El botadero de Curgua se encuentra ubicado en las coordenadas 17M, 721907.60 m E, 9818982.11 m S, las cuales pertenecen a la provincia Bolívar, cantón Guaranda, junto a la ribera del río Guaranda.



Fuente: Google Earth 2016

2.1.2. Características del botadero

El área dispuesta para el botadero es aproximadamente de dos hectáreas, dividida en dos sitios de disposición de los desechos denominados área antigua y área nueva, cuenta con 8 chimeneas para descargar el gas metano producido por la descomposición de los desechos sólidos, además consta de un sistema de drenaje para lixiviados desde las dos áreas, las mismas que se encuentran conectadas por medio de una tubería de PVC de 50m y 30m respectivamente hacia la primera caja recolectora. Esta se encuentra enlazada por medio de una tubería de 3 pulgadas a la segunda caja recolectora ubicada a 12m de distancia, esta a su vez se conecta a un tanque recolector ubicado a 45m de distancia. Una vez recolectados los lixiviados pasan por 3 celdas que se acondicionaron como filtros de 10000 L de capacidad, en las que se la eliminación de ciertos elementos con ayuda de carbón activado para su posterior descarga.

2.2. Medición del caudal de los lixiviados

Tomando en cuenta que el caudal en el botadero de Curgua no es constante y su flujo es pequeño, se utilizó el método de aforo volumétrico, el mismo que consiste en el tiempo de llenado de lixiviado en un recipiente de un volumen determinado (Ruiz, 2009). Las mediciones del caudal se realizaron en tanque recolector del sistema de drenaje que posee el botadero, durante los meses de noviembre y diciembre del 2016 y enero del 2017. Con los resultados obtenidos se determinó el caudal promedio de generación de lixiviados del botadero de Curgua.

Tabla 1-2. Número de aforaciones realizadas

Días de aforo	Número de aforaciones realizadas			
	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Lunes (08:00-10:00)	5	5	5	5
Miércoles (08:00-10:00)	5	5	5	5
Viernes (08:00-10:00)	5	5	5	5

Realizado por: Andrade Byron, 2017

2.3. Muestreo de lixiviados.

El muestreo de los lixiviados se efectuó a la salida del tanque recolector del sistema de drenaje con el que cuenta el botadero Curgua, donde se tomaron varias muestras simples en recipientes plásticos de 5 L, que posteriormente fueron trasladados al laboratorio de control de calidad de la E.P-EMAPA-G para sus respectivos análisis. El muestreo se lo realizó en 10 ocasiones durante los meses de noviembre y diciembre del 2016, con la finalidad de obtener valores representativos de las variables analizadas.

Tabla 2-2. Número de muestreos realizados

Mes de muestreo	Fechas de muestreo	Numero de muestras
Noviembre	02 de noviembre del 2016	1
	10 de noviembre del 2016	1
	16 de noviembre del 2016	1
	23 de noviembre del 2016	1
	30 de noviembre del 2016	1
Diciembre	01 de diciembre del 2016	1
	07 de diciembre del 2016	1
	15 de diciembre del 2016	1
	21 de diciembre del 2016	1
	28 de diciembre del 2016	1

Realizado por: Andrade Byron, 2017

2.3.1. Caracterización de lixiviados

La caracterización de lixiviados se realizó aplicando los métodos HACH que se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 3-2. Descripción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos

Parámetro	Método	Equipo
Color	Cobalto platino	Colorímetro
Turbiedad	Señal de dispersión de luz (90°) nefelométrica primaria y una señal de dispersión de luz transmitida	Turbidímetro 2100P HACH
pH	Método 8156 Medidor de electrodo de pH	pH meter Sension 1 HACH
Sólidos Totales Disueltos	Método 8160 Medición Directa	Conductivity Sension 5 HACH
Conductividad	Método 8160 Medición Directa	Conductivity Sension 5 HACH
Aluminio	Método 8020-Aluminón	Espectrofotómetro DR-2800 HACH
Dureza	Titulación complejométrica	Titulación por conteo de gotas
Fluoruro	Método 8029	Espectrofotómetro DR-2800 HACH
Manganeso	Método 8149-PAN	
Bario	Método 8014- Turbidimetric	
Cobalto	Método 8078-1-(2 piridilazo)-2-naftol(PAN)	
Cromo total	Método 8024	
Hierro	Método 8008- FerroVer	
Molibdeno	Método 8036-Ácido mercaptoacético	
Bromo	Método 8167- DPD	
Cloruros	Método 8113- Tiocianato Mercurico	
Cobre	Método 8506-Bicinchoninato	
Cromo Total	Método 8024- Oxidación alcalina por hipobromito	
Fosfatos	Método 8048-Ácido ascórbico PhosVer 3	

Nitrógeno amoniacal	Método 8155- Salicilato	
Fluoruros	Método 8029- SPANDS	
Sulfatos	Método 8051-SulaVer 4	
Níquel	Método 8150-1-(2 piridilazo)- 2-naftol(PAN)	
Plata	Método 0491- Silver 4	Fotómetro PF-12
Zinc	Método	
Plomo	Método 0091-Blei 5	
Cianuro	Método 0311- Cyanid 08	
DBO5	Método 985822-Wilker	
DQO	Método 985027-Dicromato de potasio	
Oxígeno disuelto	Método 082- Sauerstoff 12	
Coliformes totales	Filtración de Membrana 0.45	Filtración al vacío
Coliformes fecales		

Fuente: Estándar Métodos y Departamento de control de calidad de la E.P-EMAPA-G

2.4. Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad se realizaron en el laboratorio de la E.P-EMAPA-G, donde se implementó una planta piloto considerándose las unidades complementarias a implementar al diseño actual, para ello se utilizó 5 contenedores cada uno con una capacidad de 16 L conectados por una tubería de PVC de 1 pulgada y una serie de accesorios que permitan el paso del lixiviado por los diferentes procesos. Cada recipiente simuló una operación unitaria que se consideró (desarenador, reactor biológico, sedimentador, filtros y tanque de desinfección). En el caso del reactor biológico fue necesaria la utilización de un compresor para la alimentación de oxígeno en el proceso de aireación; gracias a ello, se verificó la eficiencia del sistema propuesto como se refleja en los resultados adscritos en las tablas de resultados.

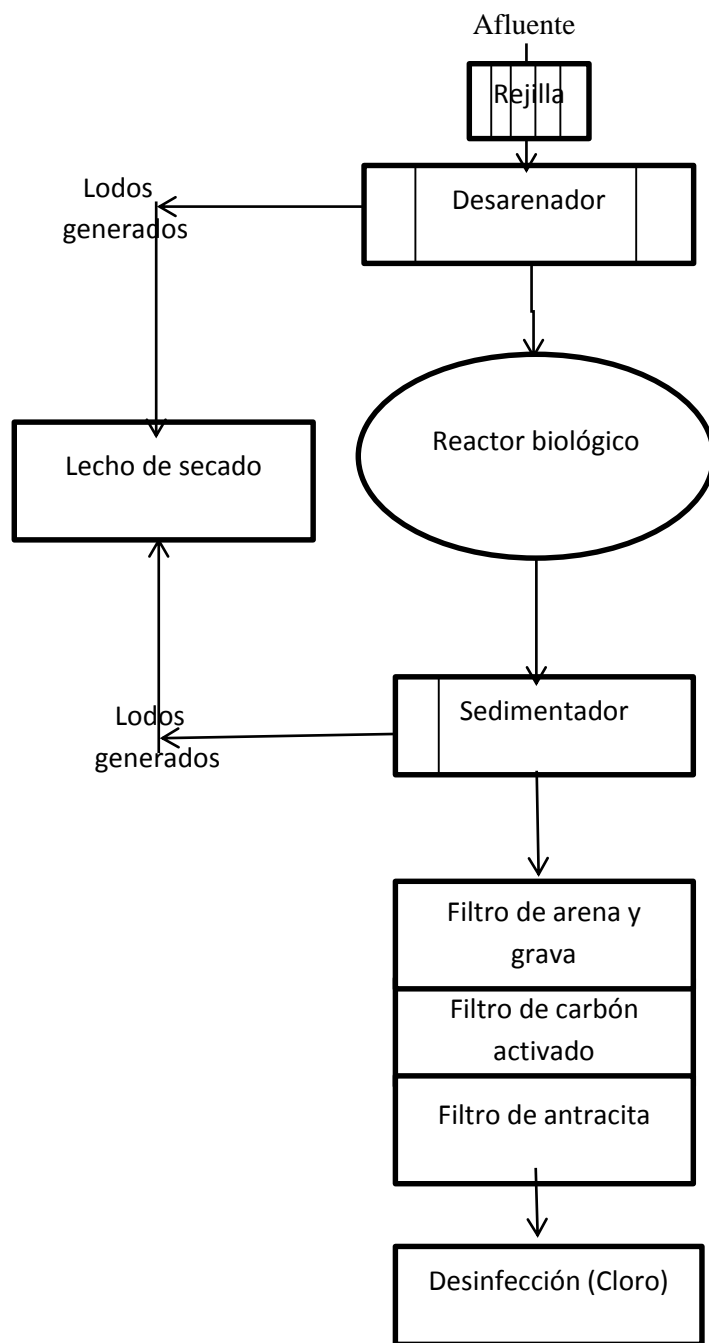


Fotografía: Planta piloto para tratamiento de lixiviados
Realizado por: Andrade Byron, 2017

2.5. Propuesta del diseño de la planta

Para el rediseño de la planta de tratamiento actual posterior a las pruebas realizadas se implementó los siguientes procesos:

- **Rejillas:** donde los sólidos de gran tamaño quedarán retenidos y evitarán afectaciones a los demás procesos con los que contara la planta depuradora de lixiviados
- **Desarenador:** los sólidos de menor tamaño y arenas que logran pasar el sistema de rejillas decantarán por acción de la gravedad, lo que favorecerá a la remoción de partículas que puedan generar problemas de funcionamiento en el reactor biológico.
- **Reactor biológico:** consiste en un proceso en el cual se genera la eliminación de la materia orgánica presente en los lixiviados por acción de los microorganismos y del oxígeno proveniente del sistema de aireación lo que reduciría tanto la DBO como la DQO del lixiviado.
- **Sedimentador:** consiste en un dispositivo que permitirá la remoción de los lodos generados del tratamiento biológico del lixiviado mediante procesos de sedimentación. Los lodos son producto del crecimiento microbiano y de la aglutinación de sólidos suspendidos durante la digestión aerobia
- **Tanque de desinfección:** se trata de un dispositivo que tiene como finalidad la eliminación de patógenos presentes en el lixiviado tratado, en dicho dispositivo se utilizará el hipoclorito de calcio (HTH) como desinfectante.
- **Lecho de secado:** en este proceso se realizará la deshidratación de los lodos provenientes del procesos de tratamiento de los lixiviados generados en el botadero de basura, los lodos serán derivados tanto del desarenador, sedimentador como del reactor biológico.



Elaborado por: Andrade Byron, 2017

2.6. Dimensionamiento del sistema

Los cálculos de ingeniería se llevaron a cabo mediante la utilización de las ecuaciones obtenidas durante la revisión bibliográfica, considerándose los criterios que mejor se adaptaron a las condiciones reales del proyecto tal como se describe a continuación.

2.6.1. Cálculo de la población futura

Para el cálculo de la población futura (Pf) se utilizó el método geométrico de crecimiento poblacional que se obtiene a partir de la población inicial (Pa) de la localidad que es de 103164 habitantes y la tasa media anual de crecimiento de 1,95% (INEC, 2010). El cálculo de la población será a 20 años puesto que para cualquier diseño es debido considerar tiempos no menores a 20 años, además de ser un requerimiento de EP-EMAPA-G.

$$P_f = P_a \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

Ecuación 1

$$P_{2016-2036} = 103164 \left(1 + \frac{1,95}{100}\right)^{20}$$

$$P_{2016-2036} = 151800 \text{ habitantes}$$

2.7. Cálculo de generación de lixiviados debido a las condiciones meteorológicas

2.7.1. Generación de lixiviados por efecto de la condiciones meteorológicas

El cálculo de generación de lixiviados se realizó por el método suizo en donde Q representa el caudal de lixiviado en L/s, P la precipitación media anual de la localidad que es de 2605,6 (mm/año) o 2,61 (m/año), A el área superficial del botadero (20000 m²), K el coeficiente del grado de compactación comprendido entre K= 0,15 a 0,25 (valor promedio 0,20) datos proporcionados por la Dirección de Gestión Ambiental Guaranda y t que representa los segundos en un año.

Tabla 3-2. Medición de la precipitación para los meses de estudio

MEDICIÓN DE PRECIPITACIÓN (mm/mes)			
Noviembre 2016	Diciembre 2016	Enero 2017	Promedio de la precipitación en los meses de estudio
217,13	217,14	217,13	217,13

Fuente: Dirección de Gestión Ambiental de Guaranda.

$$Q = \frac{1 * P * A * K}{t}$$

Ecuación 2

$$Q = \frac{1 * 2,61 * 20000 * 0,20}{31536000}$$

$$Q = 0,33 \frac{L}{s}$$

2.7.2. Cálculo del caudal por balance hídrico de infiltración del botadero

Para el cálculo del balance hídrico es necesario determinar primero el valor de la infiltración (I), para lo cual utilizaremos los valores de precipitación promedio (P), escorrentía (E) y evapotranspiración real (ETr), cuyos datos se especifican en las tablas proporcionadas por la Dirección de Gestión Ambiental de Guaranda.

Tabla 4-2. Medición de Evapotranspiración real mensual para los meses de estudio

TEMPERATURAS °C	MESES DE MUESTREO	ETr
14,1	Noviembre 2016	131,04
13,8	Diciembre 2016	130,43
13,9	Enero 2017	133,73
Promedio		131,73

Fuente: Dirección de Gestión Ambiental de Guaranda.

Tabla 4-2. Porcentaje de escorrentía en función del tipo de cobertura de suelo y pendiente

Tomando en consideración que el área dispuesta para el botadero presenta una inclinación del 5-10%, además que la composición del terreno es de tierra-arcilla, el porcentaje de escorrentía será del 57% equivalente a 19,44 mm/mes ((DGA-G))

CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	PENDIENTE %	PORCENTAJE DE ESCORRENTÍA		
		ARENA	TIERRA ARCILLA	ARCILLA
Pasto o capa de tierra compactada				
Plano	0-5	10	30	40
Inclinado	5-10	16	36	55
Montañoso	10-30	22	42	60
Sin vegetación, no compactada				
Plano	0-5	30	45	60
Inclinado	5-10	40	57	70
Montañoso	10-30	52	72	82

Fuente: Dirección de Gestión Ambiental de Guaranda

$$I = P - E - ETr$$

Ecuación 3

$$I = 217,13 - 19,44 - 131,73$$

$$I = 65,96 \text{ mm/mes}$$

Balance Hídrico (LL)

Una vez encontrados los datos de infiltración (65,96 mm) y conociendo la capacidad de retención del agua en el botadero (0,1 mm/mes, valor proporcionado por la Dirección de Gestión Ambiental de Guaranda) podemos realizar el balance hídrico aplicando la siguiente ecuación.

$$LL = I - Ret$$

Ecuación 4

$$LL = 65,96 - 0,1$$

$$LL = 65,86 \frac{\text{mm}}{\text{mes}}$$

El caudal de lixiviados generado por procesos hidrológicos en el botadero de Curgua se obtiene a partir del cálculo de la superficie del botadero multiplicado por el valor del balance hídrico (LL) teniéndose como resultado lo siguiente:

$$LL = 65,86 \frac{\text{mm}}{\text{mes}} * 20000 \text{ m}^2$$

$$LL = 0,54 \text{ L/s}$$

Caudal promedio de condiciones meteorológicas

El caudal óptimo será el resultado del promedio entre el caudal obtenido por el método suizo y por el balance hídrico, donde Q_1 es el caudal promedio por condiciones meteorológicas en el botadero de Curgua.

$$Q_1 = \left(\frac{LL + Q_{\text{método suizo}}}{2} \right)$$

Ecuación 5

$$Q_1 = \left(\frac{0,54 + 0,33}{2} \right)$$

$$Q_1 = 0,44 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

El caudal que se utilizará para el dimensionamiento será el encontrado de manera experimental por las aforaciones realizadas (0,73 L/s), debido a que se incluye no solo las condiciones meteorológicas, sino también la generación de lixiviados debido a la degradación de los residuos, además por recomendaciones técnicas de la E.P-EMAPA-G se realizó un aumento del 30% al caudal de diseño (0,95 L/s) para el dimensionamiento del desarenador, reactor biológico y sedimentador con el fin de evitar imprevistos por reboses, además es importante recalcar que para el diseño del tanque de desinfección se considera el caudal que pasa por la tubería de 110 mm abierta a la mitad de su capacidad que será igual a $6,81 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.8. Cálculos de diseño del reactor biológico

2.8.1. Reactor biológico

Para el cálculo y dimensionamiento del reactor biológico fue necesario tomar consideraciones técnicas basadas en el Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Dirección Técnica de la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, basados en el libro Proyecto de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en donde fueron sugeridos parámetros como la profundidad, diámetro, coeficiente de corrección y eficiencia. (E.P-EMAPA-G, 2012) (Juana, 2005), donde es necesaria la determinación de: volumen del reactor, tiempo de retención, carga volumétrica, entre otros, tal como se indica a continuación:

- **Volumen del reactor**

Los valores utilizados para la DBO₅ y sólidos suspendidos totales fueron obtenidos a partir de las pruebas de tratabilidad realizadas.

$$V = \frac{X_{DBO_5}}{X * Cm}$$

Ecuación 6

Dónde:

X_{DBO}: Concentración de DBO₅ (18,03 mg DBO₅/L)

X: Concentración de sólidos suspendidos totales (17 mg SST/L)

Cm: Carga másica (0,25 mgDBO₅ / mgSST.m³)

$$V = \frac{18,03}{17 * 0,25}$$

$$V = 4,24 \text{ m}^3$$

- **Tiempo de retención**

$$T_r = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 7

Dónde:

V: Volumen del reactor (4,24 m³)

Q: Caudal de diseño (0,95 L/s u 82,04 m³/día)

$$T_r = \frac{4,24}{82,04}$$

$$T_r = 0,052 \text{ dias} = 1,2 \text{ horas}$$

Debido a los datos obtenidos de las pruebas piloto realizados del reactor se considera un aumento en el tiempo de retención a 8 horas. Además debido al aumento del tiempo de retención se considera un diámetro del reactor de 3 m y una altura de 2,5 m lo cual nos da una capacidad en el reactor de 17,67 m³.

- **Carga volumétrica**

$$C_v = \frac{X_{DBO_5} * Q}{V}$$

Ecuación 8

Dónde:

X_{DBO}: Concentración de DBO₅ (18,03 mg/L)

Q: Caudal de diseño (82,04 m³/día)

V: Volumen del reactor (17,67 m³)

$$C_v = \frac{18,03 * 82,08}{17,67}$$

$$C_v = 83,25 \frac{mg}{L} = 0,08 \text{ KgDBO}/m^3$$

- **Edad del fango**

$$Ef = \frac{1}{0,2Cm + Cm^{1,445}}$$

Ecuación 9

Dónde:

Cm: carga másica 0,25

$$Ef = \frac{1}{0,2(0,25) + 0,25^{1,445}}$$

$$Ef = 5,41 \text{ dias}$$

- Necesidad teórica de oxígeno para la síntesis

$$a = 0,50 + 0,001 Ef$$

Ecuación 10

Dónde:

Ef: edad del fango (5,41 días)

a: necesidad teórica de oxígeno para la síntesis

$$a = 0,50 + 0,001 (5,41)$$

$$a = 0,55$$

- Oxígeno necesario en síntesis

$$ON_{síntesis} = a * X_{DBO_5}$$

Ecuación 11

Dónde:

a: necesidad teórica de oxígeno para la síntesis

X_{DBO}: Concentración de DBO₅ (5,41x10⁻⁵ Kg/día)

ON_{síntesis}: oxígeno necesario en síntesis

$$ON_{sistesis}: 0,55 * 5,41 \times 10^{-5}$$

$$ON_{sistesis}: 2,97 \times 10^{-5} \frac{Kg O_2}{día}$$

- Necesidad teórica de oxígeno para endogénesis

$$b = \frac{0,13Ef}{1 + 0,16Ef}$$

Ecuación 12

Dónde:

b: necesidad teórica de oxígeno para endogénesis

Ef: edad del fango (5,41 días)

$$b = \frac{0,13 * 5,41}{1 + (0,16 * 5,41)}$$

$$b = 0,38 \frac{Kg O_2}{día}$$

- Oxígeno necesario para endogénesis

$$ON_{endogenesis} = b * X_{DBO_5}$$

Ecuación 13

Dónde:

b: necesidad teórica de oxígeno para la síntesis

X_{DBO₅}: Concentración de DBO₅ (5,41x10⁻⁵ Kg/día)

ON_{endogenesis}: oxígeno necesario en síntesis

$$ON_{endogenesis} = 0,38 * 5,41 \times 10^{-5}$$

$$ON_{endogenesis} = \frac{2,06 \times 10^{-5} KgO_2}{día}$$

- Necesidad de oxígeno punta

$$ON_{punta} = \text{necesidad de síntesis} + \text{necesidad de endogénesis}$$

Ecuación 14

Por lo tanto:

$$\text{Necesidad de síntesis} = a * 0,88$$

Dónde:

a: necesidad teórica de oxígeno para la síntesis

$$\text{Necesidad de síntesis} = (0,55) (0,88) = 0,48 \text{ KgO}_2/\text{KgDBO}_5$$

$$\text{Necesidad de endogénesis} = b * 1$$

Dónde:

b: necesidad teórica de oxígeno para la síntesis

$$\text{Necesidad de endogénesis} = (0,38)(1) = 0,38 \text{ KgO}_2/\text{KgDBO}_5$$

- Oxígeno en punta

$$ON_{punta} = 0,48 + 0,38$$

$$ON_{punta} = 0,86 \frac{KgO_2}{KgDBO_5}$$

- Considerando los Kg de DBO₅ eliminados al día

$$ON_{punta_{total}} = ON_{punta} \left(5,30 \times 10^{-5} \frac{KgDBO_5}{día} \right)$$

Ecuación 15

$$ON_{punta_{total}} = (0,86)(5,30 \times 10^{-5})$$

$$ON_{punta_{total}} = \frac{4,55 \times 10^{-5} Kg O_2}{día}$$

- **Oxígeno real**

$$OR = \frac{ON_{punta_{total}}}{K_t * C_{O_2} * E * C_c * \rho}$$

Ecuación 16

- **Coeficiente K_t**

$$K_t = K_{t1} * K_{t2} * K_{t3}$$

Ecuación 17

- **Coeficiente K_{t1}**

$$K_{t1} = \frac{C_{st} - C_x}{C_s}$$

Ecuación 18

Dónde:

$$Cp = 1 - 0,111 \left(\frac{altitud}{1000} \right)$$

Ecuación 19

Dónde:

T= Temperatura 15° C

Cx: concentración media de oxígeno (1,66 mg/L)

Cs: Concentración de saturación de oxígeno (10,2 mg/L)

Salinidad = 2,5 mg/L por lo tanto $\beta = 0,98$

Altitud: 2668 msnm

$$Cp = 1 - 0,111 \left(\frac{2668}{1000} \right)$$

$$Cp = 0,70$$

- **Concentración de saturación media**

$$C_{sf} = C_s \left(\frac{10,33 + P}{10,33} \right)$$

Ecuación 20

Dónde:

Cs: Concentración de saturación de oxígeno (10,2 mg/L)

P: Profundidad 2,5 m debido a los difusores se toma 2 m

$$C_{sf} = 10,2 \left(\frac{10,33 + 2}{10,33} \right)$$

$$C_{sf} = 12,17$$

- **Concentración en la superficie**

$$C_{ss} = C_s \left(\frac{1 - E}{0,91 + 0,209(1 - E)} \right)$$

Ecuación 21

Dónde:

Cs: Concentración de saturación de oxígeno 10,2 (mg/L)

E: Requerimiento de transferencia de oxígeno

- **Requerimiento de transferencia de oxígeno**

$$E = 0,05P$$

Ecuación 22

Dónde:

P: profundidad 2 m

$$E = 0,05(2)$$

$$E = 0,1$$

$$C_{ss} = C_s \left(\frac{1 - E}{0,791 + 0,209(1 - E)} \right)$$

$$C_{ss} = 10,2 \left(\frac{1 - 0,1}{0,791 + 0,209(1 - 0,1)} \right)$$

$$C_{ss} = 9,37$$

- **Coeficiente de saturación media**

$$C_{sm} = \frac{C_{sf} + C_{ss}}{2}$$

Ecuación 23

Dónde:

C_{ss}: concentración en la superficie 9,37

C_{sf}: concentración de saturación media 12,17

$$C_{sm} = \frac{12,17 + 9,37}{2}$$

$$C_{sm} = 10,77$$

C_A viene dado por:

$$C_A = \frac{C_{sm}}{C_s}$$

Ecuación 24

Dónde:

C_A : concentración actual

C_{Sm} : concentración de saturación media

C_S : concentración de saturación de oxígeno

$$C_A = \frac{10,77}{10,2}$$

$$C_A = 1,06$$

Por lo tanto:

$$C_{ST} = C_S * \beta * C_P * C_A$$

Ecuación 25

Dónde:

C_{ST} : Concentración de saturación total

C_P : concentración punta

C_A : concentración actual

$$C_{ST} = 10,2 * 0,98 * 0,70 * 1,06$$

$$C_{ST} = 7,42$$

Donde K_{t1} :

$$K_{t1} = \frac{C_{st} - C_x}{C_s}$$

$$K_{t1} = \frac{7,42 - 1,66}{10,2}$$

$$K_{t1} = 0,56$$

• **Coefficiente K_{t2}**

$$K_{t2} = 1,024^{T-10}$$

Ecuación 26

Dónde:

T: Influencia de la temperatura en la velocidad de difusión de oxígeno 15° C

$$K_{t2} = 1,024^{15-10}$$

$$K_{t2} = 1,13$$

- **Coeficiente K_{t3}**

Tabla 5-2. Coeficientes K_{t3} en base a la temperatura

Temperatura	10°C	15°C	20°C
K_{t3}	0,80	0,79	0,78

Fuente: Wipple, 2014

Se tiene en cuenta la influencia de la temperatura (15° C) en la velocidad de disolución de oxígeno según las características del licor por tanto:

$$K_{t3} = 0,79$$

$$K_t = K_{t1} * K_{t2} * K_{t3}$$

$$K_t = 0,56 * 1,13 * 0,79$$

$$K_t = 0,49$$

- **Oxígeno real**

$$OR = \frac{ON_{\text{punta total}}}{K_t * C_{O_2} * E * C_c * \rho}$$

Ecuación 27

Dónde:

$$ON_{\text{punta total}} 4,55 \times 10^{-5}$$

C_{O_2} : Contenido de O_2 (0,27)

E: Eficiencia (0,3 Kg/m³) Datos proporcionados por la Dirección técnica de la E.P-EMAPA-G

C_c: Coeficiente de corrección 0,25 Datos proporcionados por la Dirección técnica de la E.P-EMAPA-G

Densidad: 998,74 Kg/m³

$$OR = \frac{4,55 \times 10^{-5}}{0,49 * 0,27 * 0,3 * 0,25 * 998,74}$$

$$OR = \frac{4,59 \times 10^{-6} KgO_2}{día}$$

- **Potencia a instalar del compresor**

$$P_{cv} = \left(\frac{0,227 * Q_{aire}}{1,04} \right) * \left(\left(\frac{P2}{P1} \right)^{0,283} - 1 \right) * C$$

Ecuación 28

Dónde:

P1: presión 10,33 mca

P2: presión 2

C: coeficiente de seguridad

Q_{aire}: 4360 Nm³/hora

$$P2 = P1 + profundidad + pérdida del difusor + pérdida de tubería$$

$$P2 = 10,33 + 2 + 0,11 + 1,5$$

$$P2 = 13,94 \text{ mca}$$

$$P_{cv} = \left(\frac{0,227 * 4360}{1,04} \right) * \left(\left(\frac{13,94}{10,33} \right)^{0,283} - 1 \right) * 0,1$$

$$P_{cv} = 84,24 CV = 62,82 Kw$$

2.9. Cálculo de diseño de las unidades complementarias al reactor biológico

Para obtener una mayor remoción de cargas contaminantes es necesario implementar unidades complementarias antes y después al reactor biológico. Donde al inicio tendremos unidades como

rejillas, un canal y un desarenador, mientras que posterior al reactor se incorporan las unidades de sedimentación, filtros y tanque de desinfección. Cabe indicar que además se deberá establecer la superficie para lecho de secado de los lodos obtenidos en el proceso de tratamiento.

2.9.1. Cálculo del Canal

Los criterios de diseño que se consideraron para el dimensionamiento del canal están basados en el Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Dirección Técnica de la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, donde se especifica que el ancho del canal debe estar comprendido entre (0.40 – 1.0) m y la altura (0.50 – 1.50) m (E.P-EMAPA-G, 2012).

Para el cálculo del canal es necesaria la determinación del área transversal y radio hidráulico como se indica a continuación:

- **Área transversal del Canal**

$$A = B * h$$

Ecuación 29

Dónde:

A: Área transversal del canal

B: base del canal (0,5 m)

h: altura del canal (0,7 m)

$$A = (0,5m)(0,7m)$$

$$A = 0,35 m^2$$

- **Radio hidráulico**

$$R = \frac{A}{B + 2h}$$

Ecuación 30

Dónde:

R: Radio hidráulico

A: Área transversal del canal

B: Base del canal

h: altura del canal

$$R = \frac{0,35 \text{ m}^2}{0,5\text{m} + 2(0,7\text{m})}$$

$$R = 0,19\text{m}$$

2.9.2. Rejillas

Para el cálculo y dimensionamiento de las rejillas se tomaron en cuenta criterios de diseño especificado en el Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Dirección Técnica de la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, tabla 7-2, basadas en el libro de Tratamiento de Aguas Residuales con Matlab (E.P-EMAPA-G, 2012), donde es necesaria la determinación de la velocidad de aproximación, área de las rejillas, número de barras, entre otros, tal como se indica en las siguientes ecuaciones:

Tabla 6-2. Criterios de diseño para rejillas

Condiciones	Unidad	Limpieza Manual	Limpieza mecánica
Ancho	mm	5-15	5-15
Profundidad	mm	25-37.5	25-37.5
Separación entre		25-50	15-75

barras	mm		
Espesor	mm	10-20	25-30
Pendiente	Grados	45-60	0-60
Gradiente hidráulico	Adimensional	0.0001-0.0008	0.001-0.008
Coeficiente de pérdida para rejillas	Adimensional	1.79	2.48

Fuente: (E.P-EMAPA-G, 2012) (Martinez, 2005)

- **Velocidad de aproximación**

$$V_{ap} = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 31

Dónde:

V_{ap} : Velocidad de aproximación

R: Radio hidráulico

S: Gradiente hidráulico (0,0005 valor sugerido por dirección técnica de la E.P-EMAPA-G)

n: Coeficiente de Manning (0,013 para hormigón)

$$V_{ap} = \frac{1}{0,013} * (0,19)^{\frac{2}{3}} * (0,0005)^{\frac{1}{2}}$$

$$V_{ap} = 0,57 \frac{m}{s}$$

- **Área entre las rejillas**

$$A_r = \frac{Q}{V_{ap}}$$

Ecuación 32

Dónde:

A_r : Área entre las rejillas

Q: Caudal de diseño ($7,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$)

V_{ap} : Velocidad de aproximación (0,57 m/s)

$$A_r = \frac{7,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{0,57 \text{ m/s}}$$

$$A_r = 1,28 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- **Longitud sumergida de la rejilla**

- **Nivel Máximo**

$$n_{max} = \frac{Q}{V_{ap} * B}$$

Ecuación 33

Dónde:

n_{max} : Nivel máximo

Q: Caudal de diseño

V_{ap} : Velocidad de aproximación

B: Base del canal

$$n_{max} = \frac{(7,3 \times 10^{-4}) \text{ m}^3/\text{s}}{(0,57 \frac{\text{m}}{\text{s}})(0,5 \text{ m})}$$

$$n_{max} = 2,56 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- **Longitud sumergida**

$$L = \frac{n_{max}}{\text{sen}(\theta)}$$

Ecuación 34

Dónde:

n_{max} : Nivel máximo ($2,56 \times 10^{-3} \text{ m}$)

L: Longitud sumergida

θ : Ángulo de inclinación (45°)

$$L = \frac{2,56 \times 10^{-3} m}{\text{sen}(45)}$$

$$L = 3,62 \times 10^{-3} m$$

- **Área de la sección transversal de flujo**

$$A_f = \frac{A_r(a + e)}{a}$$

Ecuación 35

Dónde:

A_f : Área de la sección transversal de flujo

A_r : Área entre las rejillas

a : Separación entre las barras (0,01 m)

e : espesor de la barra (0,015 m)

$$A_f = \frac{(1,28 \times 10^{-3})(0,01 + 0,015)}{0,01}$$

$$A_f = 3,2 \times 10^{-3} m^2$$

- **Suma de separación entre barras**

$$bg = \left(\frac{B - a}{e + a} + 1 \right) * a$$

Ecuación 36

Dónde:

bg : Separación entre barras para rejillas finas (m).

B : Ancho (0,5 m)

a : Separación entre barras.

e : Espesor máximo de las barras

$$bg = \left(\frac{0,5 - 0,01}{0,015 + 0,01} + 1 \right) * 0,01$$

$$bg = 0,04 \text{ m}$$

- **Número de barras**

$$N_b = \frac{B}{a + t}$$

Ecuación 37

Dónde:

N_b : Número de barras.

B: ancho.

a: separación entre barras

t: espesor máximo de las barras

$$N_b = \frac{0,5}{0,01 + 0,015}$$

$$N_b = 20$$

- **Pérdida de carga a través de las rejillas**

$$hc = \beta \left(\frac{e}{a} \right)^{4/3} * \frac{v^2}{2g} * \text{sen } \theta$$

Ecuación 38

Dónde:

hc : Pérdida de carga a través de las rejillas (m).

V: Velocidad de flujo a través del espacio entre barras de la rejilla (m/s).

g: Aceleración de la gravedad (m/s^2).

a: Separación entre barras

e: Espesor máximo de las barras.

β : Factor dependiente de la forma de las barras.

θ : Ángulo de inclinación de las barras 45° .

$$h_c = 1,79 \left(\frac{0,015}{0,01} \right)^{4/3} * \frac{(0,57)^2}{(2 \times 9,8)} * \text{sen}45^\circ$$

$$h_c = 0,036 \text{ m}$$

2.9.3. Desarenador

Para el cálculo y dimensionamiento del desarenador se tomaron en cuenta criterios de diseño especificados en la Guía para el diseño de Desarenadores y Sedimentares de la OPS, y el Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Dirección Técnica de la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, para determinar los valores de altura, el diámetro de partícula, densidad del líquido, densidad de partícula, viscosidad del líquido. (E.P-EMAPA-G, 2012) (OPS/CEPIS/05.158, 2005), donde es necesaria la determinación de la velocidad de sedimentación, tiempo de retención, capacidad del desarenador, entre otros, tal como se indica a continuación.

- **Velocidad de sedimentación**

$$V_s = \frac{g(\rho_a - \rho_l)}{18\mu} * d_p^2$$

Ecuación 39

Dónde:

V_s : Velocidad de sedimentación (cm/s).

g : Gravedad (980 cm/s^2).

d_p : Diámetro de la partícula ($0,005 \text{ cm}$).

ρ_l : Densidad del líquido ($0,998742 \text{ g/cm}^3$).

ρ_a : Densidad de la partícula ($2,65 \text{ g/cm}^3$).

μ : Viscosidad del líquido ($0,01172 \text{ cm}^2/\text{s}$).

$$V_s = \frac{980(2,65 - 0,998742)}{18 * 0,01172} * (0,005)^2$$

$$V_s = 0,19 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

- **Número de Reynolds**

$$\text{Re} = \frac{V_s * d_p}{\mu}$$

Ecuación 40

Dónde:

Re: Número de Reynolds

V_s : Velocidad de sedimentación (0,19 cm/s).

d_p : Diámetro de la partícula (0,005 cm).

μ : Viscosidad del líquido (0,01172 cm²/s).

$$\text{Re} = \frac{(0,192 * 0,005)}{0,01172}$$

$$\text{Re} = 0,08$$

- **Tiempo de retención**

$$t = \frac{H}{V_s}$$

Ecuación 41

Dónde:

t: Tiempo de retención (s).

V_s : Velocidad de sedimentación (0,19 cm/s).

H: Altura (3 m o 300 cm)

$$t = \frac{300}{0,19}$$

$$t = 1578,94 \text{ s}$$

$$t = 26 \text{ min}$$

- **Remoción con buenos deflectores**

$$a = K * t$$

Ecuación 42

Dónde:

a: Remoción con buenos deflectores (s).

t: Tiempo de retención (1578,94 s)

K: Constante (2,75 Valor recomendado por la dirección técnica de la E.P-EMAPA-G)

$$a = 2,75 * 1578,94$$

$$a = 4342,09 \text{ s}$$

- **Capacidad del desarenador**

$$C = Q * a$$

Ecuación 43

Dónde:

C: Capacidad del desarenador (m³).

Q: Caudal (0,95 L/s Se considera un aumento del 30% del caudal de diseño por recomendación de la dirección técnica de la E.P-EMAPA-G).

a: Remoción con buenos deflectores.

$$C = 0,95 * 4342,09$$

$$C = 4124,98 \text{ L}$$

$$C = 4,12 \text{ m}^3$$

- **Superficie del desarenador**

$$A_s = \frac{C}{H}$$

Ecuación 44

Dónde:

A_s: Superficie del desarenador (m²).

C: Capacidad del desarenador (m³).

H: Altura (3 m).

$$A_s = \frac{4,12}{3}$$

$$A_s = 1,37 \text{ m}^2$$

- **Dimensiones del desarenador**

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{1,5}}$$

Ecuación 45

$$L = 1,5 * B$$

Ecuación 46

Dónde:

L: Longitud (m).

B: Base (m).

A_s: Superficie del desarenador (1,37 m²).

$$\frac{L}{B} = 1,5$$

$$B = \sqrt{\frac{1,37}{1,5}}$$

$B = 0,95 = 1,20 \text{ m}$ Consideración recomendada por la E.P-EMAPA-G para evitar imprevistos por rebose

$$L = 1,5 B$$

$$L = 1,8 \text{ m}$$

$L = 2,50 \text{ m}$ Recomendación de la E.P-EMAPA-G para evitar rebose por imprevistos.

2.9.4. Sedimentador

Para el cálculo y dimensionamiento del sedimentador se tomaron en cuenta criterios de diseño especificados en la Guía para el diseño de Desarenadores y Sedimentares de la OPS, para parámetro como la altura, ancho, profundidad y pendiente, además se utilizó el Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Dirección Técnica de la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda (E.P-EMAPA-G, 2012) (OPS/CEPIS/05.158, 2005), donde es necesaria la determinación del área superficial, el tiempo de retención, la longitud del sedimentador, entre otros, tal como se indica a continuación:

- **Área superficial**

$$A_s = \frac{Q}{C_s}$$

Ecuación 47

Dónde:

Q: Caudal (0,95 L/s u 82.08 m³/día).

C_s: carga superficial (puede ir en un intervalo de 2-10 m³/m²/día, por fines de diseño se tomó 10 m³/m²/día)

$$A_s = \frac{82,08}{10}$$

$$A_s = 8,21 \text{ m}^2$$

- **Longitud**

$$L_2 = \frac{A_s}{B}$$

Ecuación 48

Dónde:

A_s= Área superficial (8,21 m²)

B: Ancho (1,5 m)

$$L_2 = \frac{8,21}{1,5}$$

$$L_2 = 5,47 \text{ m}$$

Se asume la distancia de separación entre la entrada y la pantalla difusora L₁= 0,25

$$L = L_1 + L_2$$

$$L = 0,25 + 5,47$$

$$L = 5,72 \text{ m}$$

- **Velocidad horizontal**

$$V_h = \frac{100 * Q}{B * H}$$

Ecuación 49

Dónde:

V_h: Velocidad horizontal

B: Ancho (1,5 m)

H: Profundidad (1,5 m)

Q: Caudal (9,4x10⁻⁴ m³/s)

$$V_h = \frac{100 * 9,4 \times 10^{-4}}{1,5 * 1,5}$$

$$V_h = 0,042 \frac{m}{s}$$

- **Tiempo de retención**

$$T_0 = \frac{V}{Q}$$

Ecuación 50

Dónde:

T_0 : Tiempo de retención

V: Volumen del sedimentador (12,87 m³)

Q: Caudal (9,4x10⁻⁴ m³/s)

$$T_0 = \frac{(12,87)}{9,4 \times 10^{-4}}$$

$$T_0 = 13691,49 \text{ s}$$

$$T_0 = 3,80 \text{ horas}$$

- **Altura total**

$$H_t = H + 0,1H$$

Ecuación 51

Dónde:

Pendiente del 10%

H_t : Altura total

H: Profundidad (1,5 m)

$$H_t = 1,5 + 0,1(1,5)$$

$$H_t = 1,65 \text{ m}$$

- **Altura del agua sobre el vertedero**

$$H_2 = \left(\frac{Q}{1,84 * B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Ecuación 52

Dónde:

H₂: Altura del agua sobre el vertedero

Q: Caudal (9,4x10⁻⁴ m³/s)

B: Ancho (1,5 m)

$$H_2 = \left(\frac{9,4x10^{-4}}{1,84 * 1,5} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_2 = 4,87x10^{-3}m$$

- **Pantalla difusora Área de orificio**

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Ecuación 53

Dónde:

A_o: Área de los orificios

Q: Caudal (9,4x10⁻⁴ m³/s)

V_o: Velocidad de paso por el orificio(0,1 m/s)

$$A_o = \frac{9,4x10^{-4}}{0,1}$$

$$A_o = 9,5x10^{-4} m^2$$

- **Área del orificio**

$$a_o = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

Ecuación 54

Dónde:

a_o : Área del orificio

d : diámetro del orificio (0,02 m)

$$a_o = \pi \left(\frac{0,02}{2} \right)^2$$

$$a_o = 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- **Número de orificios**

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

Ecuación 55

Dónde:

n : número de orificios

a_o : Área del orificio ($3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$)

A_o : Área de los orificios ($9,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$)

$$n = \frac{9,5 \times 10^{-3}}{3,13 \times 10^{-4}}$$

$$n = 30$$

- **Posición de altura de la pantalla difusora**

$$h = H - \frac{2}{5}H$$

Ecuación 56

Dónde:

h: Posición de altura de la pantalla difusora

H: Profundidad (1,5 m)

$$h = 1,5 - \frac{2}{5}(1,5)$$

$$h = 0,9 \text{ m}$$

- **Espacio entre filas**

$$a_1 = \frac{h}{Nf}$$

Ecuación 57

Dónde:

a₁: espacio entre filas

Nf: número de filas 5

h: Posición de altura de la pantalla difusora (0,9 m)

$$a_1 = \frac{0,9}{5}$$

$$a_1 = 0,18 \text{ m}$$

- **Espacio entre columnas**

$$a_2 = \frac{1,5 - a_1(N_c - 1)}{2}$$

Ecuación 58

Dónde:

a₂: espacio entre columnas

Nc: número de columnas 6

B: Profundidad (1,5 m)

$$a_2 = \frac{1,5 - 0,24(6 - 1)}{2}$$

$$a_2 = 0,15 \text{ m}$$

2.9.5. Filtros

El botadero de Curgua cuenta con una celda acondicionada para los filtros, la misma que se encuentra dividida en 3 compartimientos. El primero consta con una capacidad de 2,5 m³ en donde se dispondrá el medio filtrante de arena y grava, el segundo compartimiento cuenta con una capacidad de 2,5m³ donde se colocará carbón activado como medio filtrante y por último el tercer compartimiento presenta una capacidad de 5m³ en donde el medio filtrante será de antracita. La profundidad de las cámaras es de 2,5 m, en donde, los tres medios filtrantes tendrán una altura de 2m dejando 0,5m como altura de seguridad.

2.9.6. Tanque de desinfección

Para el cálculo y dimensionamiento del tanque de desinfección se tomaron en cuenta criterios de diseño para determinar la longitud y ancho, especificados en el Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Dirección Técnica de la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, basados en libro de Tratamiento de Aguas Residuales con Matlab (Martinez, 2005) (E.P-EMAPA-G, 2012), en donde es necesaria la determinación de: volumen del tanque, la altura, entre otros, como se indica a continuación:

- **Volumen del tanque**

$$V = Q * t$$

Ecuación 59

Dónde:

V: Volumen del tanque.

Q: El caudal es de 49 m³/h de una tubería de 110 mm que corresponde a una velocidad de 1,5 m/s. Considerando que la válvula trabajará la mitad de la capacidad se considera un caudal de 24,5 m³/h (6,81x10³ m³/s), siendo este el usado para el cálculo.

t: tiempo de retención. 1800 (s)

$$V = 6,81 \times 10^{-3} * 1800$$

$$V = 12,24 \text{ m}^3$$

- **Altura del tanque**

$$H_t = \frac{V}{L * B}$$

Ecuación 60

Dónde:

H_t: altura del tanque

V: volumen del tanque (12,24 (m³))

L: Longitud (5 m)

B: Ancho (1,5 m)

$$H_t = \frac{12,24}{5 * 1,5}$$

$$H_t = 1,6 \text{ m}$$

2.9.7. Dosificación del desinfectante

- **Dosificación del hipoclorito de calcio**

$$Dosis_{HTH} = 0,012 * gpm * C$$

Ecuación 61

Dónde:

Q: El caudal es de 49 m³/h de una tubería de 110 mm que corresponde a una velocidad de 1,5 m/s. Considerando que la válvula trabajará a la mitad de la capacidad se considera un caudal de 24,5 m³/h o 107,88 galones por minuto (gpm), siendo este el usado para el cálculo.

0,012: constante adimensional

C: Concentración de hipoclorito de calcio (5 mg/L Valor recomendado por la dirección técnica de la E.P-EMAPA-G)

$$Dosis_{HTH} = 0,012 * Q(gpm) * C$$

$$Dosis_{HTH} = 0,012 * 107,88 * 5$$

$$Dosis_{HTH} = 6,47 \frac{lb}{día}$$

- **Volumen de agua necesaria para diluir el hipoclorito de calcio, para la preparación de la solución madre**

$$V = \frac{m}{\rho}$$

Ecuación 62

Dónde:

V: Volumen de agua necesaria para diluir el hipoclorito de calcio, para la preparación de la solución madre

m_{HTH}: Masa del hipoclorito de calcio (2,94 Kg/día)

P_{HTH}: Densidad del hipoclorito de calcio (0,8 Kg/L Valor sugerido por la dirección técnica de la E.P-EMPA-G)

$$V = \frac{2,94}{0,8}$$

$$V = 3,68 L$$

- **Volumen de la solución madre**

$$V_1 = \frac{V * 65\%}{8,5\%}$$

Ecuación 63

Dónde:

V: Volumen de agua necesaria para diluir el hipoclorito de calcio, para la preparación de la solución madre (3,68 L)

$$V_1 = \frac{3,68 * 65\%}{8,5\%}$$

$$V_1 = 28,14 \text{ L}$$

- **Volumen de agua requerido para diluir la solución madre**

$$V_2 = \frac{C_1 * V_1}{C_2}$$

Ecuación 64

Dónde:

V₁: Volumen de la solución madre (28,14 L)

C₁: Concentración de hipoclorito de calcio (5 mg/L Valor recomendado por la dirección técnica de la E.P-EMAPA-G)

C₂: Concentración de hipoclorito de calcio (0,65 mg/L Especificación técnica del HTH)

$$V_2 = \frac{5 * 28,14}{0,65}$$

$$V_2 = 216,46 \text{ L}$$

$$V_2 = 217 \text{ L}$$

- **Volumen total de solución**

$$V_T = V_1 + V_2$$

Ecuación 65

Dónde:

V₁: Volumen de la solución madre (28,14 L)

V₂: Volumen de agua requerido para diluir la solución madre (217 L)

$$V_T = 28,14 + 217$$

$$V_T = 245,14 \text{ L}$$

$$V_T = 245 \text{ L}$$

- Goteo de la solución para la desinfección en el tanque

$$\text{Goteo: } \frac{V_t}{T}$$

Ecuación 66

Dónde:

V_t: Volumen total (245 L)

T: Tiempo 1 día

$$\text{Goteo: } \frac{245L}{1 \text{ día}} * \frac{1000mL}{1L} * \frac{1día}{1440min}$$

$$\text{Goteo: } 170,14 \text{ mL/min}$$

Tabla 7-2 Dosificación del HTH para distintos tiempos

libras de cloro para un día	horas	libras de cloro	Volumen 1 (L)	Volumen 1 real (L)	Volumen 2 (L)	Volumen total (L)
6,47	6	1,62	1	7	54	61

	8	2,16	1	9	72	81
	12	3,24	2	14	108	122
	24	6,47	4	28	216	244

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

2.9.8. Lecho de secado

Para el cálculo y dimensionamiento del lecho de secado fue necesario tomar en cuenta consideraciones técnicas basadas en el Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales de la Dirección Técnica de la E.P – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, basados en el libro Proyecto de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, en donde, fueron sugeridos parámetros como la profundidad, ancho. (E.P-EMAPA-G, 2012) (Juana, 2005), donde es necesaria la determinación de la masa de sólidos, el volumen de los sólidos digeridos, el volumen de lodos, entre otros, como se indica a continuación:

- **Per-cápita de los sólidos**

$$P_s = \frac{S_s * Q * 1000 L}{P_f * 1000mg}$$

Ecuación 67

Dónde:

Q: Caudal (Para la determinación per-cápita de los sólidos es necesario trabajar con el caudal de diseño establecido de 0,95L/s u 82,08 m³/día)

Pf: población futura 151800 habitantes

Ss: Sólidos suspendidos totales (160,9 mg/L)

$$P_s = \frac{160,9 * 82,08 * 1000 L}{151800 * 1000mg}$$

$$P_s = 0,087 \frac{gSS}{hab. día}$$

- **Per-capital de sólidos en suspensión**

$$C = \frac{Pf * P_s}{1000}$$

Ecuación 68

Dónde:

C: Per-capital de sólidos en suspensión

Pf: población futura 151800 habitantes

P_s: Per-cápita de los sólidos. (0,087 gSS/hab.día)

$$C = \frac{151800 * 0,087}{1000}$$

$$C = 13,21 \frac{Kg}{día}$$

- **Masa de los sólidos**

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

Ecuación 69

Dónde:

Msd: masa de sólidos

C: Per-capital de sólidos en suspensión 13,21 Kg/día

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * 13,21) + (0,5 * 0,3 * 13,21)$$

$$Msd = 4,29$$

- **Volumen diario de lodos digeridos**

$$V_{LD} = \frac{Msd}{\rho * \% \text{ sólidos}}$$

Ecuación 70

Dónde:

Msd: masa de sólidos 4,29

ρ : Densidad de lodo (1,04 Kg/L)

%sólidos: 12%

$$V_{LD} = \frac{4,29}{1,04 * 0,12}$$

$$V_{LD} = 34,38 \text{ L}$$

- **Volumen de lodos**

$$V_L = \frac{V_{LD} * T_{LD}}{1000}$$

Ecuación 71

Dónde:

V_{LD} : Volumen diario de lodos digeridos (34,38 L)

T_{LD} : Tiempo 55 días debido a la temperatura de 15°C

$$V_L = \frac{34,38 * 55}{1000}$$

$$V_L = 1,89 \text{ m}^3$$

- **Área del lecho**

$$A_{LS} = \frac{V_L}{H_L}$$

Ecuación 72

Dónde:

V_L : Volumen de lodos

H_L : Altura de lecho (2,5m)

$$A_{LS} = \frac{1,89}{2,5}$$

$$A_{LS} = 0,75 \text{ m}^2$$

- **Longitud del lecho**

$$L_L = \frac{A_{LS}}{B_L}$$

Ecuación 73

A_L : Área del lecho (0,75 m²)

B_L : Ancho del lecho (3 m)

$$L_L = \frac{0,75}{3}$$

$$L_L = 0,25 \text{ m}$$

$L_L = 6 \text{ m}$ Recomendación de la E.P-EMAPA-G para evitar imprevistos

- **Volumen del tanque**

$$V_T = L_L + B_L - H_L$$

Ecuación 74

Dónde:

B_L : Ancho del lecho (3 m)

L_L : longitud del lecho (6 m)

H_L : Altura de lecho (2,5m)

$$V_T = 6 + 3 - 2,5$$

$$V_T = 6,5 \text{ m}^3$$

- Intervalo de tiempo para desalojar los lodos

$$T_d = \frac{V_T}{Q}$$

Ecuación 75

Dónde:

Q: Caudal considerando pérdidas ($1,3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ valor considera a partir de las pérdidas que se darán en los procesos que generan lodos).

V_T : Volumen del tanque ($6,5 \text{ m}^3$).

$$T_d = \frac{6,5}{1,3 \times 10^{-4}}$$

$$T_d = 50000 \text{ s}$$

$$T_d = 14 \text{ horas}$$

2.10. Elaboración de planos

Una vez realizado los cálculos de ingeniería y obtenidos los resultados del dimensionamiento, se realizó la elaboración de los planos utilizando el software AutoCAD, observándose una representación escalar de las diferentes unidades a implementar, estos planos contendrán la información básica necesaria para la implementación del tratamiento (véase en anexos).

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS

3.1. Resultados de aforaciones de caudales

Las aforaciones realizadas de los lixiviados generados en el botadero de Curgua durante los meses de noviembre y diciembre del 2016 y enero del 2017 dando como resultado lo siguiente:

Tabla 1-3. Aforaciones de caudal del mes de noviembre 2016

Días	Semana 1 Q(L/s)	Semana 2 Q(L/s)	Semana 3 Q(L/s)	Semana 4 Q(L/s)
Lunes	0,71	0,72	0,74	0,72
Miércoles	0,65	0,70	0,73	0,75
Viernes	0,75	0,65	0,70	0,75
Promedio semanal	0,70	0,71	0,72	0,74
Promedio mensual		0,72		

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 5-3. Aforaciones del caudal del mes de diciembre 2017

Días	Semana 1 Q(L/s)	Semana 2 Q(L/s)	Semana 3 Q(L/s)	Semana 4 Q(L/s)
Lunes	0,70	0,73	0,74	0,72

Miércoles	0,77	0,76	0,74	0,76
Viernes	0,75	0,74	0,76	0,77
Promedio semanal	0,74	0,74	0,75	0,75
Promedio mensual	0,75			

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 6-3. Aforaciones del caudal del mes de enero 2017

Días	Semana 1 Q(L/s)	Semana 2 Q(L/s)	Semana 3 Q(L/s)	Semana 4 Q(L/s)
Lunes	0,70	0,73	0,74	0,72
Miércoles	0,75	0,76	0,73	0,76
Viernes	0,75	0,67	0,74	0,75
Promedio semanal	0,73	0,72	0,74	0,74
Promedio mensual	0,73			

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 7-3. Promedio de las aforaciones mensuales del caudal de lixiviados

Meses	Promedios Q(L/s)
Noviembre 2016	0,72
Diciembre 2016	0,75
Enero 2017	0,73
Caudal promedio	0,73
Caudal promedio mayorado	0,95

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Una vez obtenido los valores de la aforaciones realizadas se obtuvo un caudal promedio de 0,73L/s. Para consideraciones de diseño se considera un incremento del caudal del 30% (requerimiento de la E.P-EMAPA-G) el mismo que se utilizara para los posteriores diseños.

3.2. Resultados de la caracterización físico-química y microbiológica inicial de lixiviados

Una vez realizada la caracterización físico-química y microbiológica, los resultados obtenidos muestran que las descargas sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A tal como se evidencia en las siguientes tablas

Tabla 8-3. Caracterización físico-química y microbiológica inicial de lixiviados

PARÁMETROS	UNIDAD	LIM. PER	PROMEDIO DE NOVIEMBRE	PROMEDIO DE DICIEMBRE	PROMEDIO DE LOS MESES DE ESTUDIO
COLOR	UTC	Ina. en dis	941	893	917
TURBIEDAD	NTU	.....	612,13	657,61	634,87
pH	.....	6. - 9	8,65	8,218	8,434
CONDUCTIVIDAD	mS/cm	.....	5,714	5,958	5,836
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	1600	611,55	534,44	573,00
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	130	160,20	161,6	160,9
TEMPERATURA	° C	± 3	19,60	19,37	19,49
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	50	64,19	62,13	63,16
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	10	5,50	6,31	5,91

NITROGENO AMONIACAL (NH ₃ -N)	mg/L	30	25,31	22,70	24,00
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1000	21,60	21,60	21,60
FLUORUROS (F)	mg/L	5	13,77	14,54	14,15
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10	6,54	6,77	6,66
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	2	0,41	0,46	0,44
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,5	0,45	0,44	0,45
COBRE (Cu)	mg/L	1	0,31	0,31	0,31
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	.....	712	732	722
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	5	0,031	0,042	0,036
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	1000	867,39	783,38	825,39
NIQUEL (Ni)	mg/L	2	0,92	0,77	0,84
COBALTO (Co)	mg/L	0,5	0,43	0,44	0,44
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	0,2	0,009	0,008	0,008
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	5	0,68	0,74	0,71
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	0,1	0,008	0,008	0,008
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	0,1	0,45	0,50	0,48
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	2	1,74	1,67	1,71
BORO (Ba)	mg/L	2	0,72	0,71	0,72
BROMO (Br)	mg/L	.....	0,007	0,008	0,008
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	.....	0,008	0,007	0,008
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0,81	0,75	0,78
OXÍGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	.....	1,73	1,58	1,65

DBO ₅	mg/L	100	880,78	901,49	891,14
DQO	mg/L	200	1509,4	1465,60	1487,50
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	6784	6322	6553
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	2000	3820	2820	3320

Fuente: Departamento de control de calidad de la E.P-EMAPA-G.

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Una vez obtenidas las concentraciones a partir de la caracterización de los lixiviados, de la DBO₅ y DQO se determinó el índice de biodegradabilidad que fue de 0,6, por lo que la implementación de un tratamiento biológico para la depuración de lixiviados puede ser eficiente en dichas descargas. Posteriormente realizadas las pruebas de tratabilidad se estableció que el tratamiento escogido es el ideal debido a que se obtuvieron resultados favorables.

3.3. Resultados de las pruebas de tratabilidad

Una vez puesta en marcha las pruebas de tratabilidad realizadas en el laboratorio se efectuó la caracterización de los lixiviados evidenciándose una remoción de diferentes parámetros en cada una de las operaciones implementadas, tal como se menciona en las siguientes tablas:

Tabla 9-3. Remoción de parámetros en el desarenador

Desarenador			
	Concentración Inicial	Concentración Final	% Remoción
Turbiedad (NTU)	634,87	603,13	5,00
Color (UTC)	917,00	898,66	2,00
STD(mg/L)	573,00	530,33	7,45
SST(mg/L)	160,90	148,03	8,00

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 10-3. Remoción de parámetros en el reactor biológico

Reactor biológico			
	Concentración Inicial	Concentración Final	% Remoción
Turbiedad (NTU)	603,13	180,93	70,00
Color (UTC)	898,66	862,71	4,00
DBO ₅	891,14	18,03	97,98
DQO	1487,50	25,97	98,25
pH	8,43	7,68	8,90

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 11-3. Remoción de parámetros en el sedimentador

Sedimentador			
	Concentración Inicial	Concentración Final	% Remoción
Turbiedad (NTU)	180,93	3,06	98,31
Color (UTC)	862,71	836,83	3,00
STD (mg/L)	530,33	42,67	91,95
SST (mg/L)	148,03	32,00	78,38

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 12-3. Remoción de parámetros en el filtro de grava y arena

Filtro de Grava y Arena			
	Concentración Inicial	Concentración Final	% Remoción
Color (UTC)	836,83	502,10	40,00
SST (mg/L)	32,00	29,64	7,38

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 13-3. Remoción de parámetros en el filtro de carbón activado

Filtro de Carbón Activado			
	Concentración Inicial	Concentración Final	% Remoción
Color (UTC)	502,10	276,16	45,00
SST (mg/L)	29,64	25,59	13,66

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 14-3. Remoción de parámetros en el filtro de antracita

Filtro de Antracita			
	Concentración Inicial	Concentración Final	% Remoción
Color (UTC)	276,16	5,00	98,19
SST (mg/L)	25,59	17,00	33,57

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

3.4. Caracterización de los lixiviados posterior al sistema propuesto

Una vez aplicado los procesos piloto se procedió a la caracterización de los lixiviados tratados, mismos que dieron como resultado los siguientes valores:

Tabla 15-3. Resultado de los lixiviados después del tratamiento propuesto

PARÁMETROS	UNIDAD	LIM. PER	PROMEDIO DE LOS MESES DE ESTUDIO	LIX. TRATADOS
COLOR	UTC	Ina. en dis	917	5
TURBIEDAD	NTU	.....	634,87	3,06
pH	.....	6. - 9	8,434	7,68

CONDUCTIVIDAD	mS/cm	.....	5,836	0,25
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	1600	573,00	42,67
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	130	160,9	17,00
TEMPERATURA	° C	± 3	19,49	14,97
NITRÓGENO TOTAL (N)	mg/L	50	63,16	34,58
FOSFATOS (P-PO ₄ 3-)	mg/L	10	5,91	0,94
NITROGENO AMONIACAL (NH ₃ -N)	mg/L	30	24,00	1,67
SULFATOS (SO ₄ 2-)	mg/L	1000	21,60	2,0
FLUORUROS (F)	mg/L	5	14,15	0,38
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	10	6,66	0,56
MANGANESO (Mn 2+)	mg/L	2	0,44	0,083
CROMO (Cr +6)	mg/L	0,5	0,45	0,21
COBRE (Cu)	mg/L	1	0,31	0,02
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	.....	722	124
ALUMINIO (Al 3+)	mg/L	5	0,036	0,018
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	1000	825,39	198,34
NIQUEL (Ni)	mg/L	2	0,84	0,14
COBALTO (Co)	mg/L	0,5	0,44	0,20
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	0,2	0,008	0,006

ZINC (Zn^{2+})	mg/L	5	0,71	0,42
PLATA (Ag^+)	mg/L	0,1	0,008	0,007
CIANURO (CN^-)	mg/L	0,1	0,48	0,02
BARIO (Ba^{2+})	mg/L	2	1,71	0,95
BORO (Ba)	mg/L	2	0,72	0,24
BROMO (Br)	mg/L	.....	0,008	0,007
MOLIBDENO (Mo^{6+})	mg/L	.....	0,008	0,008
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	.....	0,78	0,39
OXÍGENO DISUELTO (O_2)	mg/L	.....	1,65	5,25
DBO_5	mg/L	100	891,14	18,03
DQO	mg/L	200	1487,50	25,97
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	.....	6553	<1
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	2000	3320	<1

Fuente: Departamento de control de calidad de la E.P-EMAPA-G.

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

3.5. Remoción de contaminantes en el tratamiento de lixiviados

En cada uno de los procesos implementados en los ensayos de laboratorio se presentó la remoción de los contaminantes presentes en el lixiviado. En términos generales, la remoción de algunos parámetros varía entre el 94-97% aproximadamente, por lo que el lixiviado tratado cumple con los valores máximos permisibles, estipulados en el acuerdo ministerial 097A sobre los límites de descargas en cuerpos de agua dulce.

Reducción del color

El porcentaje de remoción del color durante el tratamiento a escala de laboratorio fue de cerca del 99,45% gracias a que el medio filtrante considerado a nivel piloto estuvo constituido de arena y grava, carbón activado y antracita, lo cual permitió la retención de las partículas de menor granulometría en los espacios intersticiales del lecho filtrante reduciéndose el color de 917 a 5 UTC. (Envitech, 2014)

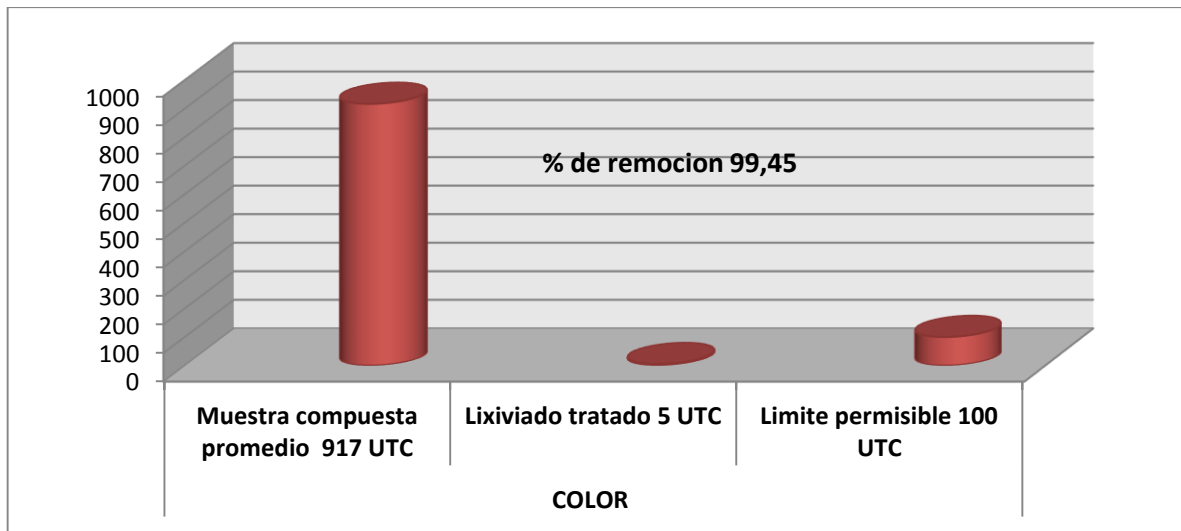


Gráfico 1-3 Resultados de los análisis de Color
Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Reducción de la turbiedad

El porcentaje de remoción de la turbiedad durante el tratamiento a escala de laboratorio fue de cerca del 99,51%, gracias a que en el desarenador decantan ciertas partículas que presentan una mayor granulometría, posteriormente en el reactor biológico se produce un proceso de desestabilización de las mismas debido a la generación de biomasa que permiten su aglomeración y su posterior sedimentación por acción de la gravedad. Finalmente en los medios filtrantes, las partículas de menor granulometría son retenidas en los espacios intersticiales del lecho filtrante, reduciéndose la turbiedad de 634,87 a 3,06 NTU (Envitech, 2014).

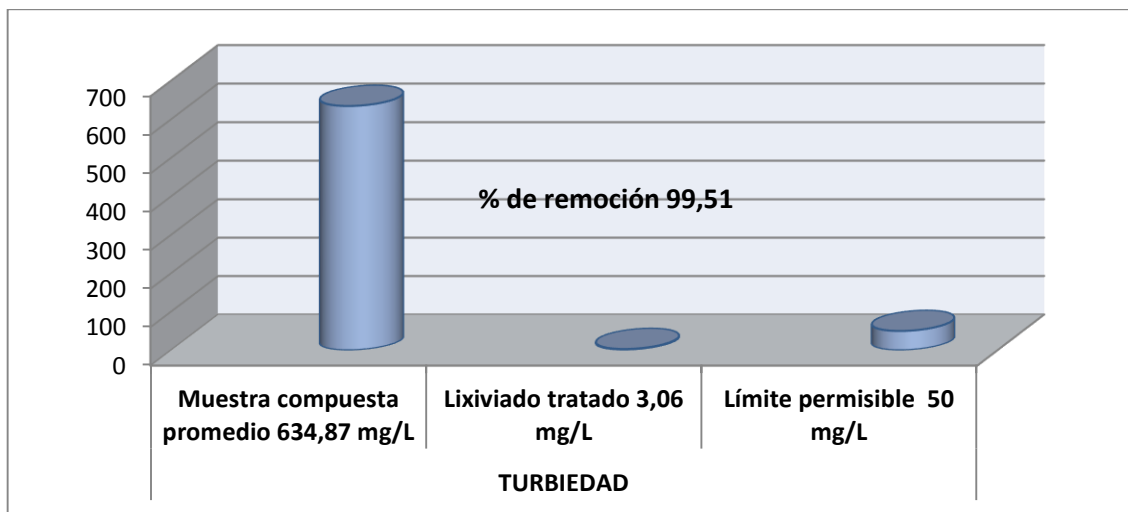


Gráfico 2-3. Resultados de los análisis de Turbiedad

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Remoción de los sólidos suspendidos totales.

El porcentaje de remoción de los sólidos suspendidos totales durante el tratamiento a escala de laboratorio fue de cerca del 89,43% gracias a la utilización de un desarenador donde las partículas de mayor granulometría decantaron; además, una vez tratado el lixiviado en el reactor biológico se produce la generación de biomasa con la respectiva reducción de material orgánico coloidal, desestabilizando las partículas suspendidas, lo que favoreció a la aglutinación de las mismas, para posteriormente decantar en el sedimentador. Las partículas que no lograron ser removidas en dichos procesos, quedan retenidas en los medios filtrantes, reduciéndose los sólidos suspendidos totales de 160,9 a 17 mg/L. (Envitech, 2014) (OPS/CEPIS/05.158, 2005)

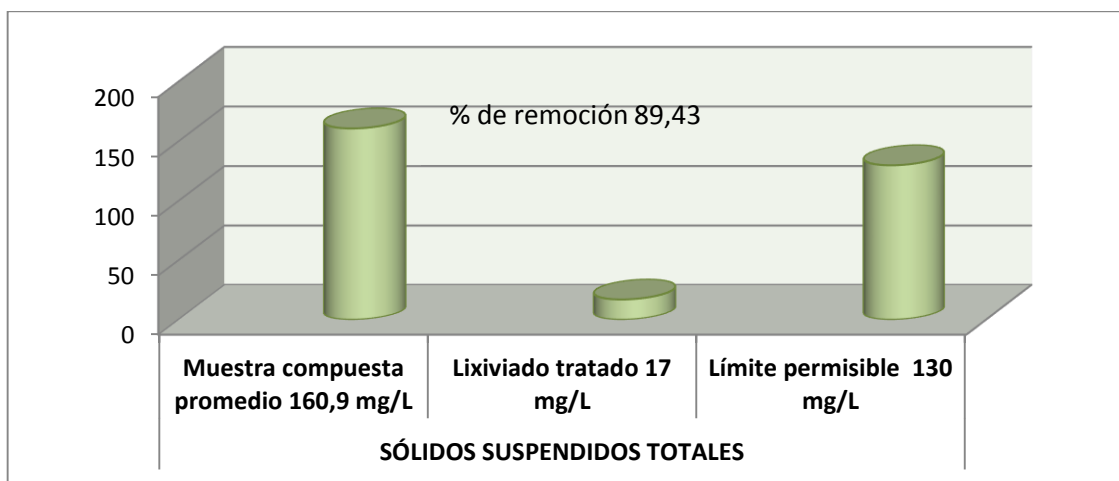


Gráfico 3-3. Resultados de los análisis de Solidos suspendidos totales

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Remoción del nitrógeno total

El porcentaje de remoción del nitrógeno total durante el tratamiento a escala de laboratorio fue de cerca del 45,25%, debido a que los microorganismos presentes en el reactor biológico generan un proceso de nitrificación que oxida al nitrógeno orgánico en nitrato lo que ayudará a la disminución de este parámetro de 63,16 a 34,58 mg/L. (Queralt, 2004)

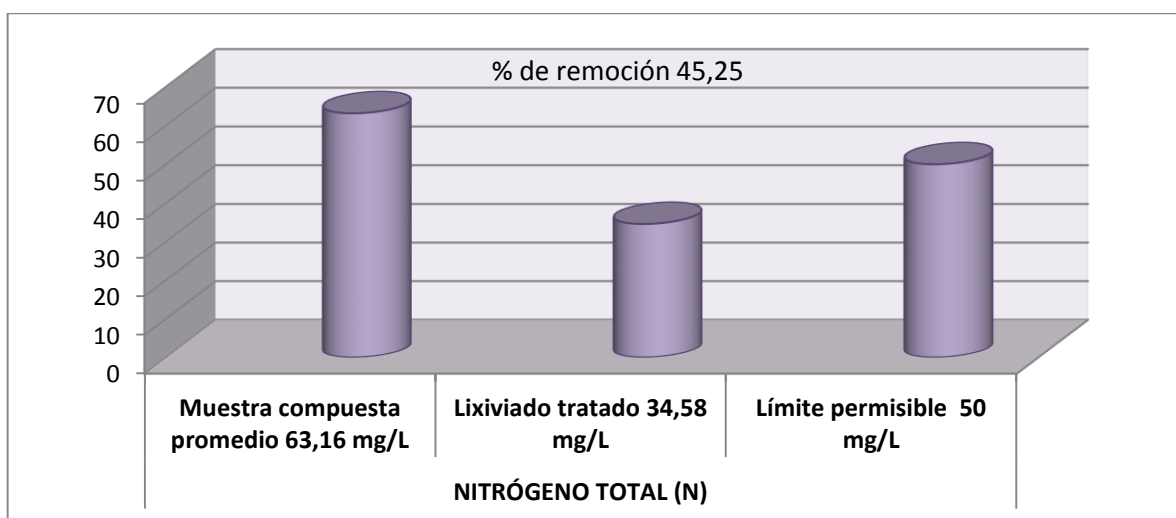


Gráfico 4-3. Resultado de los análisis de Nitrógeno Total

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Remoción de fluoruros.

El porcentaje de remoción de fluoruros durante el tratamiento a escala de laboratorio fue de cerca del 97,31% debido a que en el reactor biológico los microorganismos producen una generación de biomasa lo que provoca la desestabilización y aglutinación de partículas en donde los fluoruros son retenidos, posteriormente decantarán en el proceso de sedimentación y mientras que las partículas de menor granulometría quedarán retenidas en los medios filtrantes, lo cual ayudó a la disminución de este parámetro de 14,15 a 0,38 mg/L. (Sancha Antuña, 2013)

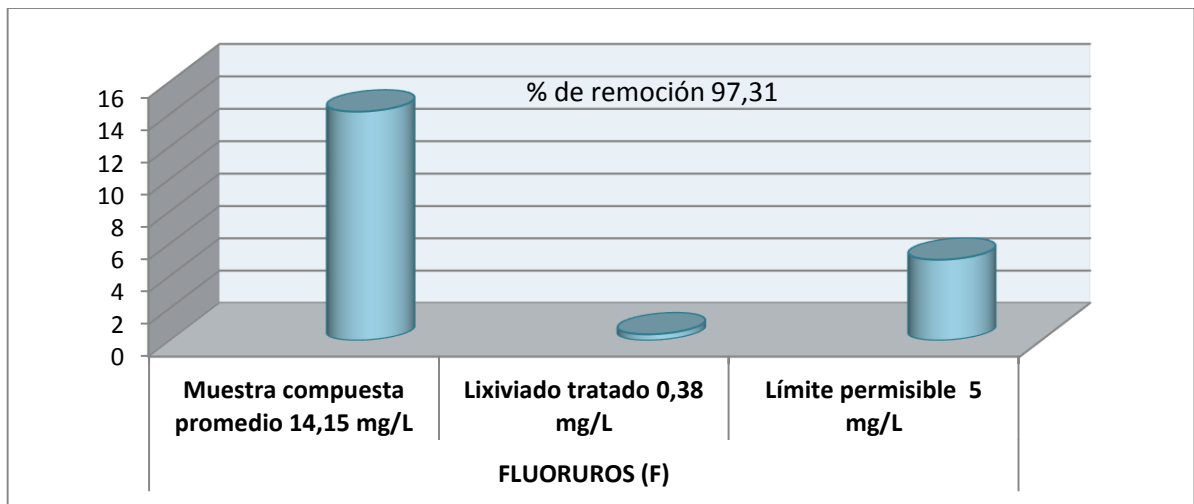


Gráfico 5-3. Resultados de los análisis de Fluoruros

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Remoción del Cianuro

El porcentaje de remoción del cianuro durante el tratamiento a escala de laboratorio fue de cerca del 95,83%, gracias a que en el reactor biológico, los microorganismos utilizan la materia orgánica presente como fuente de alimento y energía, la misma que de a poco decreciendo hasta desaparecer. Posteriormente al consumo del carbono y nitrógeno orgánico, los microorganismos realizan la reducción del cianuro, debido a que las moléculas de carbono y nitrógeno presentes en el cianuro se convierten en su nueva fuente energética cuando las formas orgánicas desaparecen, produciéndose una disminución de este parámetro de 0,48 a 0,02 mg/L. (Evitech, 2017)

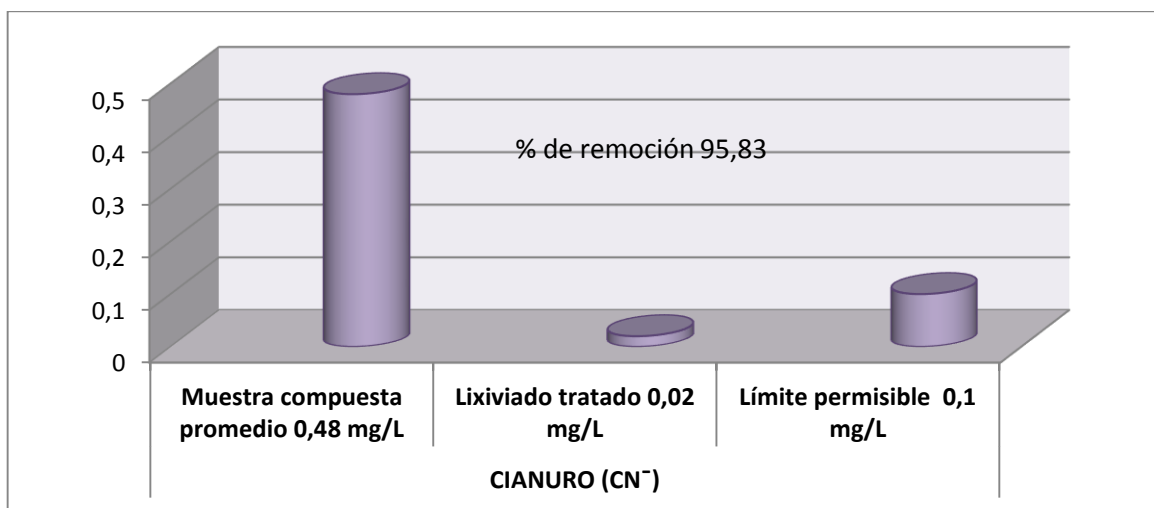


Gráfico 6-3. Resultados de los análisis de Cianuro

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Reducción de la DBO₅

El porcentaje de remoción de la DBO₅ durante el tratamiento a escala de laboratorio fue de cerca del 97,98%, donde los microorganismos presentes en el reactor biológico, en presencia de oxígeno, utilizan la materia orgánica como alimento y fuente de energía, produciéndose la degradación y reducción de la misma, con lo cual se produce la disminución de este parámetro de 891,14 a 18,03 mg/L. (Queralt, 2004)

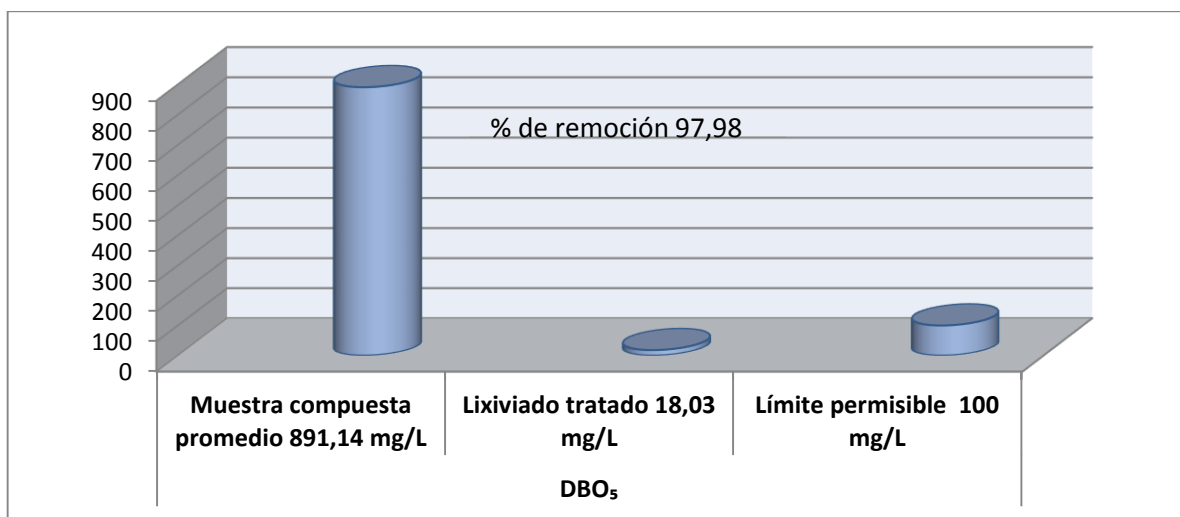


Gráfico 7-3. Resultado de los análisis de DBO₅

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Remoción de la DQO

El porcentaje de remoción de la DQO durante el tratamiento a escala de laboratorio fue de cerca del 98,25% debido a que en el reactor biológico con la presencia de oxígeno, los microorganismos presentes oxidan la materia orgánica y la utilizan como alimento y energía la disminución de este parámetro de 1487,50 a 25,97 mg/L. (Queralt, 2004)

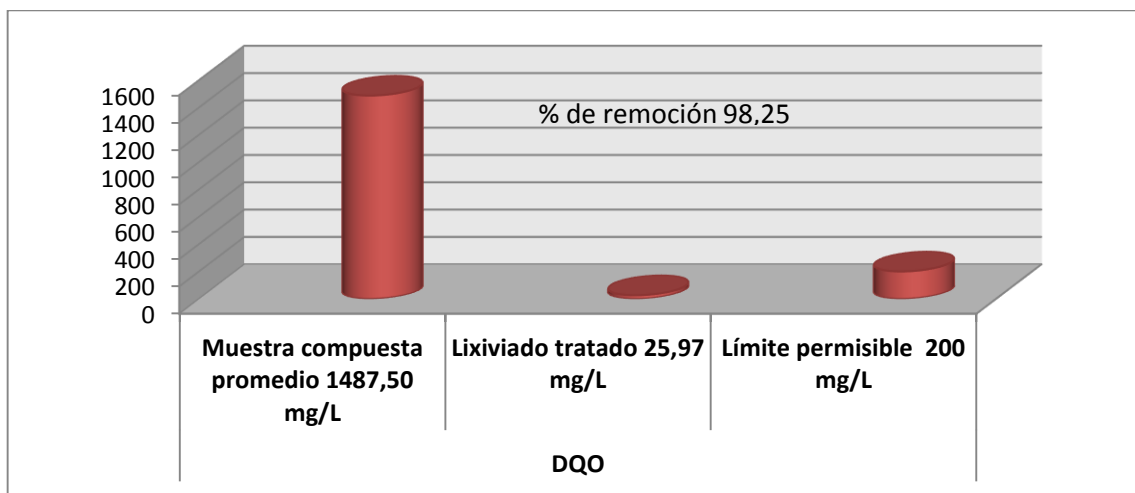


Gráfico 8-3. Resultados de los análisis de DQO

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Remoción de coliformes fecales

El porcentaje de remoción de coliformes fecales durante el tratamiento a escala de laboratorio fue de cerca del 99,97%, gracias a que en el tanque de desinfección se realiza la dosificación de hipoclorito de calcio, con lo cual se produjo la reducción de los patógenos de 3320 a <1 NMP/100mL (OPS/CEPIS/05.158, 2005)

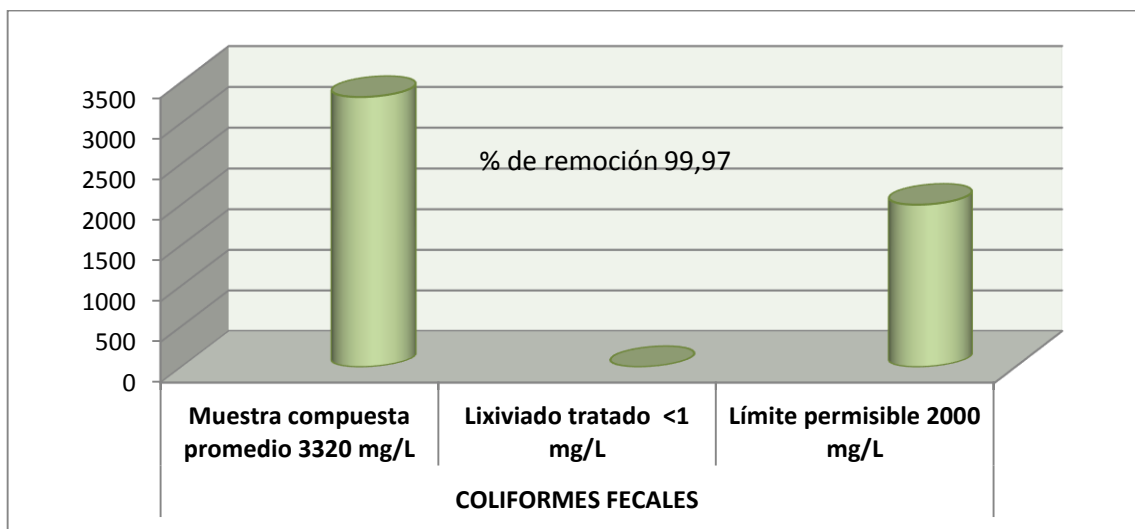


Gráfico 9-3. Resultados de los análisis de Coliformes Fecales

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

3.6. Resultados de la determinación de los parámetros de diseño

Una vez realizados los cálculos de diseño obtuvimos los siguientes resultados

Tabla 16-3. Diseño del Reactor Biológico

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del reactor	V	m ³	4,24
Tiempo de retención	T _r	Horas	8
Carga volumétrica	C _v	KgDBO/m ³	0,08

Edad del fango	Ef	Días	5,41
Oxígeno real	OR	KgO ₂ /día	$4,59 \times 10^{-6}$
Potencia a instalar	P _{cv}	Kw	62,82
Altura del reactor	h	m	2
Altura de difusores	h _d	m	0.5
Diámetro del reactor	Dr	m	3

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 117-3. Diseño del canal

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área transversal del canal	A	m ²	0,35
Radio hidráulico	R	m	0,19
Base	B	m	0,5
Altura	H	m	0,7

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 18-3. Diseño de Rejillas

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Velocidad de aproximación	V _{ap}	m/s	0,57
Área entre las rejillas	A _r	m ²	$1,28 \times 10^{-3}$
Longitud sumergida	L	m	$3,62 \times 10^{-3}$
Área de la sección transversal de flujo	A _f :	m ²	$3,2 \times 10^{-3}$
Número de barras.	N _b :	---	20

Pérdida de carga a través de las rejillas	hc:	m	0,036
---	-----	---	-------

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 19-3. Diseño del Desarenador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Velocidad de sedimentación	V_s	cm/s	0,19
Número de Reynolds	Re	...	0,08
Tiempo de retención	t	min	26
Capacidad del desarenador	C	m ³	4,12
Superficie del desarenador	A_s	m ²	2,06
Longitud	L	m	2,50
Base	B	m	1,20
Altura	H	m	3

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 20-3. Diseño del Sedimentador

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Área superficial	A_s	m ²	8,21
Longitud	L	m	5,72
Velocidad horizontal	V_h	m/s	0,042
Tiempo de retención	T_0	Horas	3,80
Altura total	H_t	m	1,65
Altura del agua sobre el vertedero	H_2	m	$4,87 \times 10^{-3}$
Área de los orificios	A_o	m ²	$9,5 \times 10^{-4}$
Área del orificio	a_o	m ²	$3,14 \times 10^{-4}$

Número de orificios	n	Unidades	30
Posición de altura de la pantalla difusora	H	m	0,9
Espacio entre filas	a ₁	m	0,18
Espacio entre columnas	a ₂	m	0,15
Volumen del sedimentador	V	m ³	12,67

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 21-3. Diseño del tanque de Desinfección

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen del tanque.	V	m ³	12,24
Altura del tanque	H _t	m	1,6
Longitud	L	m	5
Ancho	B	m	1,5

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

Tabla 22-3. Diseño del Lecho de Secado

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Per-cápita de los sólidos.	P _s	gss/hab.día	0,087
Per-capital de sólidos en suspensión	C	Kg/día	13,21
masa de sólidos	Msd		4,29
Volumen diario de lodos digeridos	V _{LD}	L	34,38
Área del lecho	A _L	m ²	0,75
Ancho del lecho	B _L	m	3
Longitud del lecho	L _L	m	6

Volumen del tanque	V_T	m^3	6,5
Intervalo de tiempo para desalojar los lodos	T_d	Horas	14

Elaborado por: Andrade Byron, 2017

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Una vez realizado el dimensionamiento del sistema de tratamiento biológico complementario, se determina el costo que tendría su implementación en base a los materiales que se utilizaran, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 23-3. Determinación de los costos del Sistema de Tratamiento Biológico de lixiviados

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo Total (\$)
Rejillas				
Limpieza y desbroce	m^2	15	1,10	16,5
Canal	m^2	0,5	99	49,5
Marco de hierro	U	3	11	33
Total				99
Desarenador				
Limpieza y desbroce	m^2	60,37	1,10	66,41
Replanteo y nivelación	m^2	60,37	4,60	277,70
Excavación manual	m^3	77,42	9,35	723,87
Replanteo de H.S. 140 Kg/cm²	m^2	3,90	99,55	388,25
Hormigón simple F' C 210 Kg/cm²	m^3	35,25	198,20	6986,55
Enlucido e	m^2	61,05	10,40	634,92

impermeabilización				
Total				9077,7
Reactor biológico SBR				
Limpieza y desbroce	m ²	50,75	1,10	55,82
Replanteo y nivelación	m ²	50,75	4,60	233,45
Excavación manual	m ³	112,35	9,35	1050,47
Hormigón simple F´C 210 Kg/cm ²	m ³	11,03	198,20	2186,15
Replanto de H.S. 140 Kg/cm ²	m ²	9,66	99,55	961,65
Enlucido e impermeabilización	m ²	98	10,40	1019,2
Total				5506,74
Sedimentador convencional				
Limpieza y desbroce	m ²	105,18	1,10	115,61
Replanteo y nivelación	m ²	105,18	4,60	483,46
Excavación manual	m ³	182,42	9,35	1705,62
Hormigón simple F´C 210 Kg/cm ²	m ³	77,40	198,20	15340,68
Replanto de H.S. 140 Kg/cm ²	m ²	4,34	99,55	432,05
Enlucido e impermeabilización	m ²	154,45	10,40	1606,28
Total				19683,7
Filtro de Arena y Grava				
Arena	m ²	28,21	18,36	517,93
Grava	m ²	14,14	48	678,72
Total				1196,65
Filtro de Antracita				
Antracita	m ²	56,42	1,47	82,93

Total				82,93
Tanque de desinfección				
Limpieza y desbroce	m ²	38,44	1,10	42,26
Replanteo y nivelación	m ²	38,44	4,60	176,82
Excavación manual	m ²	57,66	9,35	539,12
Hormigón simple F´C 210 Kg/cm²	m ³		198,20	1450,82
Replanto de H.S. 140 Kg/cm²	m ²	1,22	99,55	121,45
Enlucido e impermeabilización	m ²	46,03	10,40	478,70
Total				2809,17
Lecho de secado				
Limpieza y desbroce	m ²	31,64	1,10	34,80
Replanteo y nivelación	m ²	31,64	4,60	145,54
Excavación manual	m ³	31,64	9,35	295,83
Hormigón simple F´C 210 Kg/cm²	m ³	6,20	198,20	1228,84
Replanto de H.S. 140 Kg/cm²	m ²	0,84	99,55	83,62
Total				1788,63
COSTO TOTAL DEL SISTEMA				40244,52
Imprevistos				10%
TOTAL				44268,92

Elaborado por: Andrade Byron y la Dirección Técnica de la E.P-EMAPA-G, 2017

Tabla 24-3. Determinación de costos de dosificación del Cloro

Descripción	Dosificación	Presentación	Costo por	Costo por	Costo	Costo
-------------	--------------	--------------	-----------	-----------	-------	-------

	Kg/día	Kg	unidad	día(\$)	por mes	anual
Hipoclorito de calcio	6,94	45	180,00	11,76	47.04	564.48

Elaborado por: Andrade Byron y la Dirección Técnica de la E.P-EMAPA-G, 2017

CONCLUSIONES

- Durante el presente estudio se realizó el diseño de un sistema biológico complementario para el tratamiento de lixiviados generados en el botadero de Curgua, a partir de la determinación del caudal y la caracterización físico-química y microbiológica realizada, con lo cual se obtuvo un caudal de diseño de 0,95L/s y un índice de biodegradabilidad de 0,6; los mismos que permitieron la construcción de un reactor piloto, observándose la reducción del color, turbiedad, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fluoruros, cianuro, DBO₅, DQO, coliformes totales y coliformes fecales en un 94 a 97% respectivamente, justificando así la implementación de un sistema biológico y la reingeniería del sistema actual.
- Durante la caracterización físico-química y microbiológica de los lixiviados provenientes del sistema de drenaje del botadero Curgua, parámetros como el color, turbiedad, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, fluoruros, cianuro, DBO₅, DQO, coliformes totales y coliformes fecales, presentaron los siguientes valores: 917,00 UTC; 634,87 NTU; 160,90 mg/L; 63,16 mg/L; 14,15 mg/L; 0,48 mg/L; 891,14 mg/L; 1487,50 mg/L; 6552,80 mg/L; 3320,00 mg/L respectivamente. Todos estos parámetros se encuentran fuera de los límites máximos permisibles, establecidos en la tabla 9 del Acuerdo Ministerial 097A, lo que genera en la actualidad problemas hacia los cuerpos hídricos receptores, particularmente en el río Guaranda.
- El proceso biológico apropiado para el tratamiento de lixiviados es un reactor SBR, debido a que funciona con flujos discontinuos y en presencia de elevadas concentraciones de contaminantes, las mismas que fueron determinadas durante la fase experimental del presente estudio; además, su implementación es económica y no requiere de mayor inversión por parte del GAD Municipal de Guaranda y la comunidad.
- Una vez realizadas las pruebas de tratabilidad a los lixiviados, se pudo verificar que la utilización del reactor SBR permitió la remoción tanto de la turbiedad, color, DBO₅ y DQO en un 70%, 4%, 97,98% y 98,25% respectivamente; por lo que, su aplicabilidad es recomendada para la depuración de lixiviados; además, es importante señalar que para un óptimo funcionamiento del reactor es necesaria la implementación de unidades complementarias como rejillas, desarenador, sedimentador, filtros y un tanque de desinfección, que permitieron la remoción del 95 al 98% de contaminantes, con lo cual el efluente tratado cumpliría con la

normativa ambiental vigente y pudiendo ser descargado a un cuerpo hídrico receptor sin generar impacto ambiental alguno.

- A partir de los datos obtenidos de las pruebas de tratabilidad y mediciones realizadas, además de los cálculos de ingeniería efectuados, el del reactor SBR tendría una capacidad de 17,67 m³, siendo importante considerar que para un óptimo funcionamiento del sistema en mención, es necesaria la implementación de unidades complementarias, tales como un desarenador, con una capacidad de 4,12 m³, un sedimentador de 12,87 m³ y un tanque de desinfección de 12,24 m³; los mismos que permitirán la remoción de los parámetros que se encuentran fuera de la normativa.

RECOMENDACIONES

- Implementar la planta de tratamiento biológico para lixiviados con el fin de mitigar el impacto ambiental que se viene produciendo.
- Aplicar el manual de manejo y mantenimiento que se incluye en los anexos para que los procesos funcionen de la mejor manera
- Todo el sistema de tratamiento deberá trabajar con gravedad y así evitar la utilización de bombas eléctricas.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARANGO BEDOYA, O., & SANCHES E SOUSA, L.** *Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo uasb*[en línea].Brasil, 2009. [Consultado el 23 de enero de 2017]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612009000200004
2. **ALBARRÁN, F.** *Evaluación del desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviado de rellenos sanitarios*[en línea].2010.[Consultado el 07 de julio de 2016]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70357/fichero/9.+MARCO+TEORICO.pdf>
3. **ÁLVAREZ CONTRERAS, A., & SUÁREZ GELVEZ, J. H.** . *Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad San José de Cúcuta.* [en línea].Jose de Cucuta, 2006 .[Consultado 16 de Enero de 2017]. Disponible en: https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiA6onC_cbRAhXEBsAKHSLFDUYQFghFMAg&url=http%3A%2F%2Frcientificas.uninorte.edu.co%2Findex.php%2Fingenieria%2Farticle%2Fdownload%2F2794%2F1894&usg=AFQjCNF7LqNA2VkShy
4. **ÁVILA, D. R..** *Estudio de tratabilidad por electrocoagulación de los lixiviados del relleno sanitario la esmeralda* . [en línea].(tesis) (maestria). Universidad Nacional de Colombia-Colombia 2003 pp 45-50.[Consultado el 23 de febrero del 2017]. .
5. **BALLESTER, A.** *Tecnología de tratamiento de lixiviados* [en línea]. 2012.[Consultado el 30 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/biohidro/Publicaciones%20del%20Grupo/Libro%20Valparaiso%20Tecnologias%20Biominaeras.pdf>
6. **CÁRDENAS, Y. A.** *Tratamiento de Agua Coagulación y Floculación*. [en línea]. Peru, 2000.[Consultado 20 de Julio de 2017] Disponible en: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
7. **CORENA LUNA , M. D..** *Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios***[en línea] (tesis)(maestria)**.Universidad de Sucre. Colombia 2008 [Consultado el 07 de julio de 2016] Disponible en: <http://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/001/304/2/628.44564C797.pdf>
8. **DAS-ARGENTINA.** *Tratamiento de Efluentes* [en línea].Argentina, 2017.[Consultado el 27 de Julio de 2017]. Disponible en: <http://www.das-argentina.com.ar/tratamiento-fisico-quimico-aguas-residuales.html>

9. **DIGESA.** *Fiscalización Ambiental en residuos solidos de gestión municipal provincial.* [en línea]. Peru, 2014.[Consultado el 23 de enero de 2017]. Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13926
10. **BRITO M .** *Manual de Diseño de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales E.P-EMAPA-G. .* Guaranda 2012.
11. **ENVITECH, C.** *Filtración mediante membranas para el tratamiento de las aguas residuales.* [blog]. 2014.[Consultado el 20 de Julio de 2017],. Disponible en: <http://www.aguasresiduales.info/revista/blog/filtracion-mediante-membranas-para-el-tratamiento-de-las-aguas-residuales>
12. **GARCÍA CASTILLO, J., FERRER, C., & MOLINE, F.** *Tratamiento de lixiviados de vertedero de RSU mediante proceso combinado de ultrafiltración y ósmosis inversa.* [en línea] 2008.[Consultado el 07 de julio de 2017, Disponible en:<http://www.sitra.es/sites/default/files/lixivados.pdf>
13. **GIRANDO, E. (S.F.).** *Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios[en línea]* (tesis). Universidad de los andes Colombia [Consultado el 12 de Julio de 2017]. Disponible en <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/.../718>
14. **INEC.** *Fasciculos Censales* [en línea]. Ecuador, 2010.[Consultado el 14 de diciembre de 2016]. Disponible en http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Fasciculos_Censales/Fasc_Cantoniales/Bolivar/Fasciculo_Guaranda.pdf
15. **INEC.** *Información Ambiental en Hogares.* [en línea].Ecuador, 2014.[Consultado el 22 de Enero de 2016]. Disponible en http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares_2014/Documento_tecnico_Modulo_Ambiental_Hogares_2014.pdf
16. **JUANA, R. I.** *Proyecto de Tratamiento de Aguas Residuales .* España-Madrid 2006.pp 15-25
17. **LOPEZ CASAS, J. G..** *Manual de Gestión Integral de Residuos.* Colombia-Bogota: Subdirección Red Nacional de Laboratorios, 2010 pp 45-50
18. **MARTINEZ, S.** *Tratamiento de aguas residuales con Matlab.* España-Barcelona : Reverte S.A,2005 pp 56-63.
19. **MEDINA, M. R.** *Lixiviado joven y lixiviado maduro* [en línea](tesis)(doctora)l Universidad Politècnica de Valencia. España, 2015[Consultado el 20 de Julio de 2017]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56763/REYES%20-%20Lixiviados%20en%20plantas%20de%20residuos.%20Una%20contribuci%C3%B3n%20para%20la%20selecci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20trat....pdf?sequence=1>

20. **MORROS, M.** *Sedimentadores- Sistemas de abastecimiento de Agua UNET*[en línea] Mexico, 2010.[Consultado el 20 de julio de 2017]. Disponible en: https://uvirtual.unet.edu.ve/pluginfile.php/307939/mod_resource/content/1/SEDIMENTADORES.pdf
21. **NAJERA AGUILAR, H. A.** *Lixiviados*. [en línea] Mexico,2009.[Consultado el 06 de julio de 2017], Disponible en: http://www.unicach.edu.mx/_ambiental/descargar/Gaceta4/Lixiviados.pdf
22. **OPS/CEPIS/05.158.** *Guia para el diseño de desarenadores y sedimentadores*[en línea] Ecuador ,2002.[Consultado el 19 de enero del 2017]. Disponible en: <http://www.bvsdc.paho.org/bvsatp/c/tccnoapro/documentos/agua/158csp-diseno-dcsarc.pdf>.
23. **OPS.** *Análisis Sectorial de Residuos Sólidos Ecuador* [en línea] Ecuador ,2002.[Consultado el 22 de Enero de 2017,. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/e/fulltext/analisis/ecuador.pdf>
24. **PEÑA, D.** *Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. [en línea] Chile, 2010.[Consultado el 15 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>
25. **QUERALT, R.** *Tecnología del agua*. España-Barcelona: Reed Business Information, 2004 pp 97-103 .
26. **RAMALHO., R.** Tratamiento de aguas residuales. España-Sevilla: Reveté S.A, 2003. pp 123-126
27. **RESTREPO OSORNO , H. A.** (2006). *Evaluación del proceso de coagulación – floculación* . [en línea].Colombia,2006[Consultado el 19 de enero de 2017]. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf
28. **ROJAS, R.** *Calidad del Agua*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002
29. **RUIZ, R. T.** *Guia de Orientacion en Saneamiento Básico para alcaldias de Municipios Rurales y Pequeñas comunidades* [en línea] Mexico, 2009.[Consultado el 29 de Octubre de 2016]. Disponioble en: http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-2sas.htm#2.2_____Fuentes_de_agua_y_métodos_de_aforo
30. **SANCHA ANTUÑA, M.** *Microbiología de un proceso de tratamiento de lixiviados de un bertedero* [en línea]Ecuador, 2013.[Consultado el. julio de 2016]. Disponible en: http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/23352/1/TFM_Melania%20%20Sancha%20Antu%C3%B1a.pdf
31. **SENPLADES.** *Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo*. [en línea] Ecuador, 2015.[Consultado el 12 de Julio de 2017]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/PNGIDS1.pdf>

32. **TINIZARAY, A.** *Plan de Manejo Ambiental Para la Disposición Final de los Residuos Sólidos en el Relleno Sanitario “Chimbadero” de la Ciudad de Tena* (tesis).: Universidad Internacional SEK., Ecuador 2008. pp 45-50

ANEXOS

ANEXO A. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO COMPLEMENTARIO PARA LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL BOTADERO “CURGUA”, CANTÓN GUARANDA

1. OBJETIVO

Conocer los procedimientos básicos de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento biológico complementario para lixiviados provenientes del botadero “Curgua”, cantón Guaranda.

2. ALCANCE

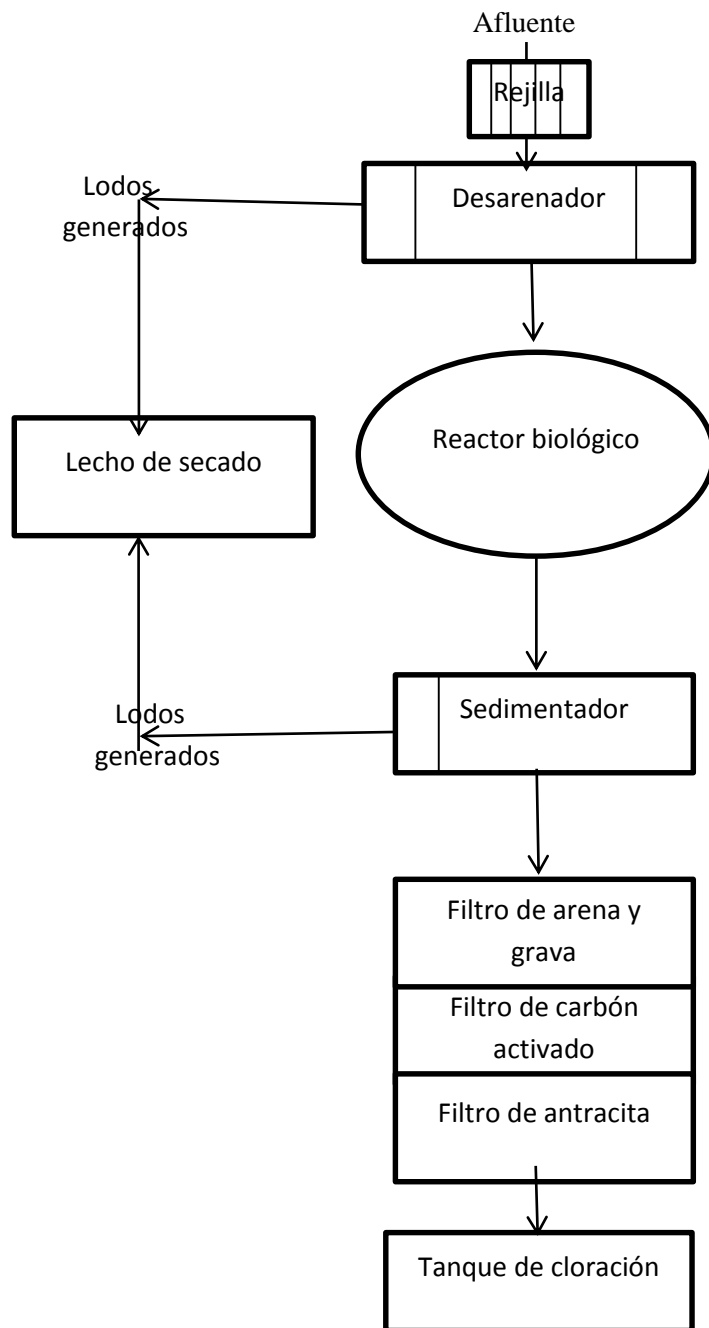
Comprende al personal encargado de la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

El sistema de tratamiento complementario para el tratamiento de lixiviados provenientes del botadero de Curgua consta de los siguientes procesos:

- Rejillas
- Desarenador
- Reactor biológico
- Sedimentador convencional
- Filtro de arena y grava
- Filtro de carbón activado
- Filtro de antracita
- Tanque de desinfección
- Lecho de secado

4. Esquema del sistema de tratamiento para lixiviados



Elaborado por: Andrade Byron, 2017

5. Dimensiones de los procesos

5.1. Rejillas

Presentan las siguientes dimensiones: ancho de 0,50m, barras de acero con un espesor de 0,015 m y separación entre barras de 0,01m.

5.2. Desarenador

Sus dimensiones son: longitud de 2,50m, un ancho de 1,20m y una altura de 3 m.

5.3. Reactor biológico

Posee una capacidad de 17,67 m³ y en su interior consta de una serie de difusores en espiral para el proceso de aireación. El Reactor trbajara con una capacidad de 12 m³ dejando lo restante como altura de seguridad debido a la formación de espumas a la hora de la aireación.

5.4. Sedimentador convencional

Tiene una longitud de 5,72m, una altura de 1,65m y un ancho de 1,5m, con un ángulo de inclinación de 60°.

5.5. Filtro de arena y grava, filtro de carbón activado y filtro de antracita

Se utilizará el tanque acondicionado para los filtros con el que cuenta actualmente el botadero, el mismo que presentan las siguientes dimensiones: longitud total de 4m, un ancho de 1m y una altura de 2,5m.

5.6. Tanque de desinfección

Presenta las siguientes dimensiones: una longitud de 5m, un ancho de 1,5m y una altura de 1,6m.

6. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

6.1. Verificación periódica

Se necesita de una revisión periódica del sistema de tratamiento con el fin de identificar posibles inconvenientes, además de realizar análisis de los lixiviados tanto en el afluente como el efluente del sistema.

6.2. Mantenimiento periódico

Remover cualquier tipo de residuo que pueda generar taponamiento en el sistema de tratamiento.

6.3. Herramientas para el mantenimiento

- Palas
- Rastrillo
- Escoba
- Mangueras

- Carretillas

6.4. Equipo de protección para los operadores

- Guantes
- Botas
- Gafas protectoras
- Casco
- Ropa impermeable

7. MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

7.1. Rejillas

La limpieza de los residuos retenidos en las rejillas se la realiza de manera manual, como se trata de un botadero se espera que se retenga una cantidad considerable de residuos por lo que se recomienda realizar dos revisiones por semana.

7.2. Desarenador

Se deberá realizar la limpieza de los sedimentos que decantan en este proceso, considerando su desfogue al lecho de secado, con ayuda de agua a presión, escobas y palas. Se debe mantener engrasadas las válvulas de compuerta que conectan al lecho de secado, para la deshidratación de lodos.

7.3. Reactor biológico

Para el reactor biológico y tomando en cuenta que no se trata de un proceso continuo se recomienda su limpieza después de cada vez que se ponga en funcionamiento con la ayuda de agua a presión, escobas y palas. Constará con dos válvulas de compuerta, una para el paso del lixiviado tratado al siguiente proceso y la segunda para el desfogue de lodos hacia el lecho de secado.

7.4. Sedimentador convencional

Se debe realizar la limpieza de la zona de lodos desde la parte más alta hacia abajo, con la ayuda de una escalera empotrada en el tanque, palas, escobas y agua a presión para remover impurezas. Se debe considerar que estos lodos también serán llevados hacia el lecho de secado por medio de una válvula de compuerta.

Se recomienda mantener engrasadas las válvulas tanto para el paso de lodos como del lixiviado.

7.5. Filtro de arena y grava, Filtro de Carbón Activado y Filtro de antracita

Una vez que se desfogue el lixiviado de cada uno de estos filtros su limpieza se la realizara de inmediato considerando que no se trata de un proceso continuo, con la ayuda de agua cruda.

7.6. Tanque de desinfección

Se recomienda trabaje con el caudal que pasa con la válvula de compuerta abierta a la mitad de su capacidad total del proceso anterior. Para la desinfección de utiliza hipoclorito de calcio, su dosificación se controlara en función de parámetros como el caudal y tiempo de funcionamiento del sistema de tratamiento. Su limpieza se realizara cada 6 meses con la ayuda de escobas, palas y agua a presión.

APENDICE

A. Registro de capacitación

REGISTRO DE CAPACITACIÓN					
Número de registro					
Responsable de la capacitación					
Fecha					
Temas					
Personal Capacitado					
Número	Apellidos	Nombres	Área	C.I	Firma

B. REGISTRO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Registro de mantenimiento preventivo					
Nombre del responsable:					
Fecha:					
Proceso:					
Observaciones					
Herramientas para el mantenimiento		Equipo de protección de los operadores			
Recursos Humanos					
Trabajadores					
Apellidos	Nombres	Actividad	Hora de inicio	Hora de finalización	Firma

C. REGISTRO DE MANTENIMIENTO

Registro de mantenimiento					
Nombre del responsable:					
Fecha:					
Proceso al que se dio mantenimiento:					
Descripción de la actividad realizada					
Recursos humanos involucrados					
Trabajadores					
Apellido	Nombre	Actividad	Hora de inicio	Hora de finalización	Firma
Tipo de mantenimiento		Condición		Observaciones	
Preventivo		Crítica			
Correctivo		Media			
Otro		Normal			
Próximo Mantenimiento:					

Anexo B: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

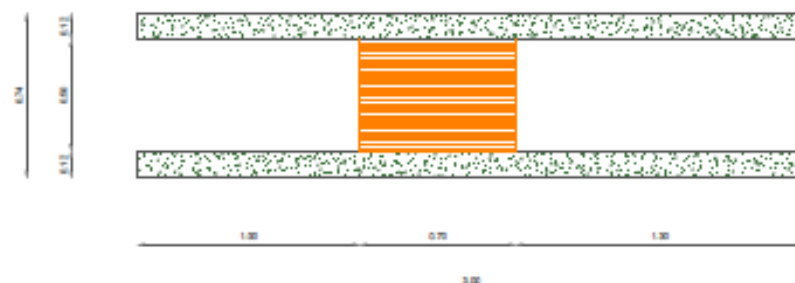
Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Alkil mercúrico		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/L	0,1
Cinc	Zn	mg/L	5,0
Cloro activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/ 100 ml	10000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	200
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo total	P	mg/L	10,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Hidrocarburos totales	TPH	mg/L	20,0

de petróleo			
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno total	N	mg/L	50,0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2
Potencial de hidrogeno	pH	mg/L	6-9
Selenio	Se	mg/L	0,1
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/L	130
Sólidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/L	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/L	0,5
Temperatura	°C	mg/L	Condición natural +/- 3
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/L	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0

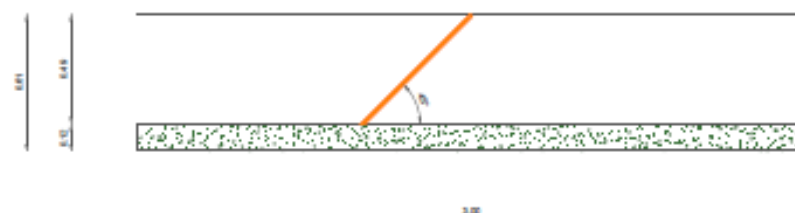
Fuente: Acuerdo Ministerial 097 A, Tabla 9, publicado en el registro oficial edición especial N° 387 del 4 de Noviembre del 2015

Realizado por: Andrade Byron, 2017

ANEXO C. Planos del sistema de tratamiento biológico



VISTA PLANTA

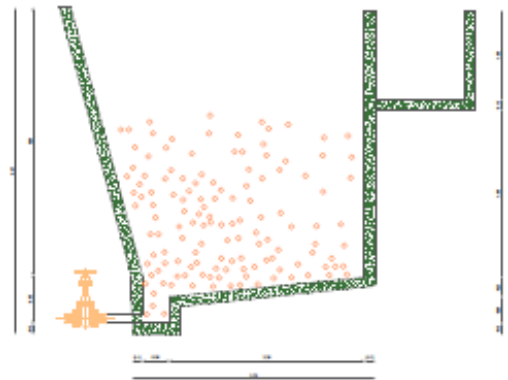


CORTE A-A'

NOTAS a. Vista Planta b. Corte A-A'	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por retirar <input type="checkbox"/>	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CARRERA QUÍMICA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO COMPLEMENTARIO PARA SEVADORES PROVENIENTES DEL BOTADERO CURSULA CANTÓN SURAMAZA		
	PROFESOR ESTUDIANTE	 	PÁGINA 18	ESCALA 1:20	FECHA 25/10/2017

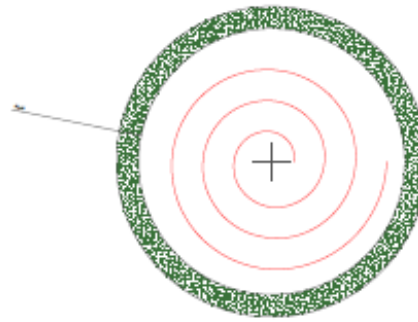


VISTA PLANTA

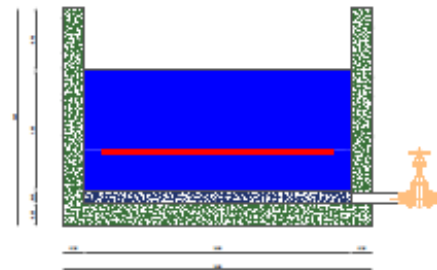


CORTE A-A'

NOTAS a. Vista Planta b. Corte A-A'	CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por retirar <input type="checkbox"/>	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO COMPLEMENTARIO PARA LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL BOTADERO CURSUA CANTÓN GUARANDA ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CIENCIAS QUÍMICAS BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO COMPLEMENTARIO PARA LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL BOTADERO CURSUA CANTÓN GUARANDA		
	Revisado por Revisado por	Aprobado por Aprobado por	PÁGINA 2/8	ESCALA 1:50	FECHA 25/10/2017



VISTA PLANTA

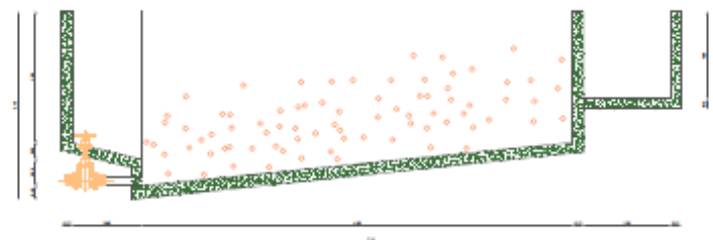


CORTE A-A'

NOTAS a. Vista Planta b. Corte A-A'	CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA Certificado: 0 Por aprobar: 0 Aprobado: 1 Para información: 0 Por calificar: 0		DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO SOLUCIÓN COMPLEMENTARIO PARA SOLUCIONES PROVENIENTES DEL BOTADERO CURSULA CANTÓN GUARANDA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS CIENCIAS QUÍMICAS BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL		
	Revisado por: Aprobado por:	Firmado por: Firmado por:			
			PÁGINA	ESCALA	FECHA
			3/8	1:50	25/10/2017



VISTA PLANTA



CORTE A-A'

NOTAS

- Vista Planta
- Corte A-A'

CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA

- Cartografiado
- Por aprobar
- Aprobado
- Para información
- Por definir

Proyecto por

Proyecto por

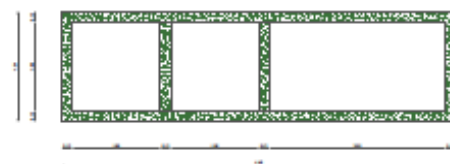
Proyecto por

Proyecto por

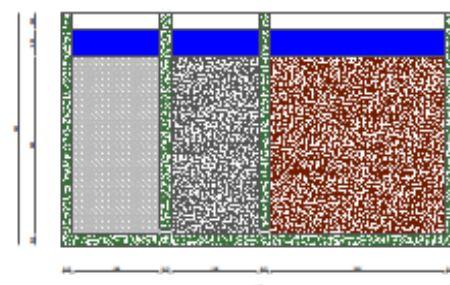
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
QUÍMICAS
BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO
BIOLÓGICO COMPLEMENTARIO PARA
LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL BOTADERO
CURSUA CANTÓN GUARANDA

PÁGINA	ESCALA	FECHA
4/8	1:50	25/10/2017



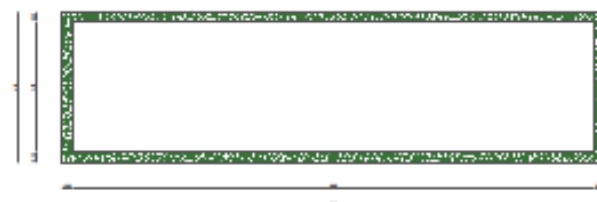
VISTA PLANTA



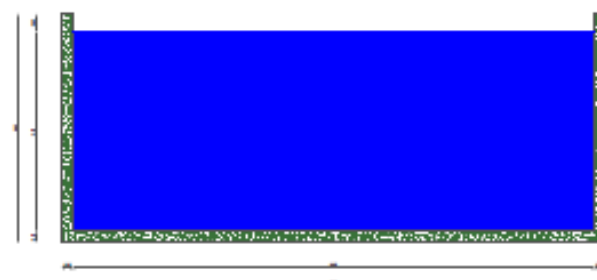
CORTE A-A'

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO		
a.	Vista Planta	Certificado	<input type="checkbox"/>	BIOLOGICO COMPLEMENTARIO PARA		
b.	Corte A-A'	Por aprobar	<input type="checkbox"/>	LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL BOTADERO		
		Aprobado	<input type="checkbox"/>	CURSUA CANTÓN GUARANDA		
		Para información	<input type="checkbox"/>			
		Por retirar	<input type="checkbox"/>			
		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE				
		CHAMORRO				
		FACULTAD DE CIENCIAS			PÁGINA	
		CIENCIAS QUÍMICAS			ESCALA	
		BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL			FECHA	
		Elaborado por:	Aprobado por:	5/8		1:50
		Revisado por:		25/10/2017		

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CIENCIAS QUÍMICAS
BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

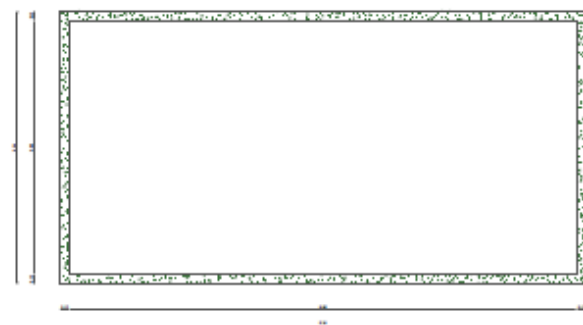


VISTA PLANTA

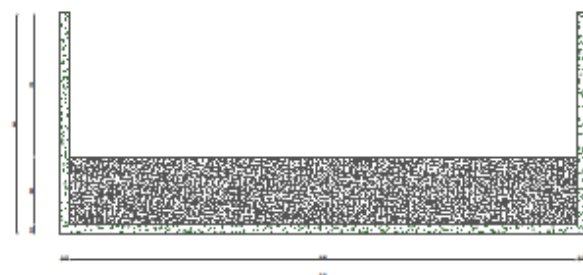


CORTE A-A'

NOTAS a. Vista Planta b. Corte A-A'	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Por retirar <input type="checkbox"/>	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICA BIOQUÍMICA AMBIENTAL	DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO COMPLEMENTARIO PARA LOS AGUAS PROYECTANTES DEL INSTANTO CURSUA CANTÓN GUAMANDA		
	PROFESOR 	ESTUDIANTE 	PÁGINA 6/6	ESCALA 1:50	FECHA 25/10/2017

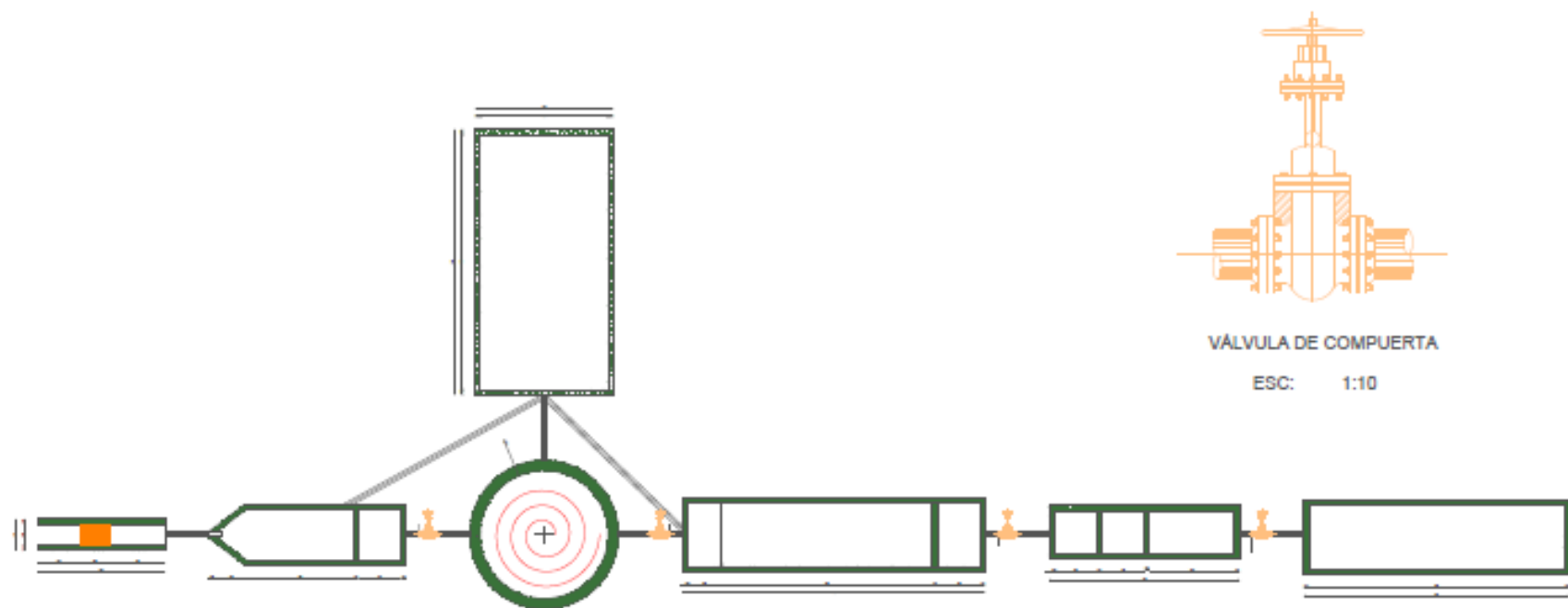


VISTA PLANTA



CORTE A-A'

NOTAS		CATEGORÍAS DEL DIAGRAMA		DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO		
a.	Vista Planta	Certificado	0	BIOLÓGICO COMPLEMENTARIO PARA		
b.	Corte A-A'	Por aprobar	0	LIXIVIADOS PROVENIENTES DEL BOTADERO		
		Aprobado	0	CURSUA CANTÓN GUARANDA		
		Para información	0			
		Por retirar	0			
		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO				
		FACULTAD DE CIENCIAS				
		CIENCIAS QUÍMICAS				
		BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL				
Elaborado por:		Aprobado por:		PÁGINA	ESCALA	FECHA
Revisado por:				7/8	1:50	25/10/2017



VÁLVULA DE COMPUERTA

ESC: 1:10

VISTA PLANTA

<p>NOTAS</p> <p>a. Vista Planta</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p>Calificado <input type="checkbox"/></p> <p>Por aprobar <input type="checkbox"/></p> <p>Aprobado <input type="checkbox"/></p> <p>Pera información <input type="checkbox"/></p> <p>Por calificar <input type="checkbox"/></p>		<p>DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO COMPLEMENTARIO PARA LEVADORES PROVENIENTES DEL RECIPIENTE CURSOS CANTÓN GUARANDA</p>		
	<p>PROFESOR</p>	<p>ESTUDIANTE</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p>	PÁGINA	ESCALA
	<p>PROFESOR</p>	<p>ESTUDIANTE</p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICA Y FÍSICA BIOQUÍMICA AMBIENTAL</p>	86	1:100
				FECHA	25/10/2017